



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ TUHÝCH PALIV

PROPERTIES MEASUREMENT OF SOLID FUELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

ONDŘEJ BLABLA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ MOSKALÍK, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Ondřej Blabla

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Energetika, procesy a ekologie (3904R030)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Měření vlastností tuhých paliv**

v anglickém jazyce:

### **Properties measurement of solid fuels**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Seznámení se s problematikou měření energetických vlastností tuhých paliv. Provedení laboratorního ověření metodiky měření.

Cíle bakalářské práce:

Student provede rešerši na téma měření energetických vlastností tuhých paliv. Dále provede souhrn a výběr vhodných měřících postupů z vybraných norem. Základní metody budou laboratorně ověřeny.

Seznam odborné literatury:

M. Baláš: Kotle a spalovací zařízení  
Vybrané normy ČSN (např. třída 44)

Internetové zdroje:

[www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)

[www.biom.cz](http://www.biom.cz)

[www.unmz.cz](http://www.unmz.cz)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Moskalík, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 22.11.2013

L.S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá problematikou měření energetických vlastností tuhých paliv. Teoretická část pojednává o základním rozdělení tuhých paliv se zaměřením na biomasu a následné rozebrání jednotlivých metod měření energetických vlastností. V praktické části budou základní metody laboratorně ověřeny a popsány.

### **Klíčová slova**

tuhá paliva, fosilní paliva, biopaliva, vzorkování, metody měření vlastností paliv

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with the properties measurement of solid fuels. The theoretical part deals with the basic division of solid fuels with a focus on biomass and the subsequent dismantling of various methods for measuring energy characteristics. In the practical part, the basic methods will be laboratory tested and described.

### **Key words**

solid fuels, fossil fuels, biofuels, sampling, properties measurement of fuels

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BLABLA, O. *Měření vlastností tuhých paliv*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Moskalík, Ph.D..

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Měření vlastností tuhých paliv vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce s použitím uvedené odborné literatury a podkladů.

V Brně dne 25.5.2014

Podpis: .....



## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Jiřímu Moskalíkovi, Ph.D. za cenné rady, informace a poznámky při vypracování této práce.

Dále bych rád poděkoval rodině za značnou podporu během psaní této bakalářské práce i během celé doby vysokoškolského studia.





## Obsah

Úvod.....	13
1. Paliva .....	14
1.1. Rozdělení paliv.....	14
1.2. Fosilní paliva.....	15
1.2.1. Tuhá fosilní paliva .....	15
1.2.1.1. Rašelina .....	15
1.2.1.2. Hnědé uhlí .....	16
1.2.1.3. Černé uhlí .....	16
1.2.1.4. Antracit .....	17
1.3. Biopaliva .....	18
1.3.1. Biomasa .....	18
1.3.1.1. Rostlinná biomasa.....	18
1.3.1.2. Odpadní biomasa .....	19
1.3.2. Tuhá biopaliva .....	19
1.4. Odpady .....	20
2. Vlastnosti a složení paliv .....	22
2.1. Hrubý rozbor .....	22
2.1.1. Voda v palivu .....	22
2.1.2. Popelovina .....	23
2.1.3. Hořlavina v palivu .....	23
2.1.4. Spalné teplo .....	23
2.1.5. Výhřevnost .....	23
2.2. Elementární rozbor.....	24
2.2.1. Nežádoucí prvky v palivu .....	25
2.3. Další důležité vlastnosti .....	25
3. Vzorkování .....	26
3.1. Nástroje pro vzorkování .....	26
3.2. Způsoby odběru vzorku.....	27
3.2.1. Odběr z proudu .....	27
3.2.2. Odběr z povrchu zastaveného pásu.....	27
3.2.3. Odběr z železničních vagónů a nákladních automobilů .....	28
3.2.4. Odběr z lodí a říčních člunů.....	28
3.2.5. Odběr z velkých kusů a balíku.....	29
3.2.6. Odběr z hromad paliva.....	29
3.3. Počet vzorků.....	29

3.3.1.	Vzorky pro tuhá fosilní paliva.....	29
3.3.2.	Vzorky pro tuhá biopaliva.....	30
3.4.	Úprava vzorků .....	32
3.4.1.	Úprava vzorku pro stanovení obsahu vody .....	32
3.4.2.	Úprava vzorku pro obecný rozbor.....	33
4.	Měření vlastností paliv.....	34
4.1.	Obsah vody v palivu .....	34
4.1.1.	Přímé metody .....	34
4.1.2.	Nepřímé metody.....	35
4.1.3.	Gravimetrická metoda.....	35
4.1.3.1.	Hrubá voda .....	35
4.1.3.2.	Zbylá voda.....	36
4.1.3.3.	Veškerá voda .....	36
4.1.3.4.	Voda v analytickém vzorku.....	37
4.1.4.	Destilační metoda.....	37
4.2.	Obsah popeloviny v palivu .....	38
4.2.1	Postup pro tuhá paliva.....	39
4.2.2.	Postup pro biopaliva .....	39
4.3.	Tavitelnost popela.....	40
4.3.1.	Postup pro tuhá paliva a biopaliva .....	40
4.4.	Spalné teplo a výhřevnost.....	41
4.4.1.	Spalné teplo .....	41
4.4.1.1.	Postup pro kalorimetr .....	42
4.4.2.	Výhřevnost .....	43
4.5.	Prchavá hořlavina .....	44
4.5.1.	Postup metody .....	44
4.6.	Shrnutí postupů.....	45
5.	Laboratorní měření.....	46
5.1.	Vlhkost.....	46
5.1.1.	Stanovení vlhkosti v laboratorní sušárně .....	46
5.1.2.	Stanovení vlhkosti pomocí halogenových vah .....	47
5.2.	Popelnatost.....	47
5.3.	Spalné teplo a výhřevnost.....	48
5.4.	Zhodnocení zkoušky.....	49
	Závěr.....	50
	Seznam použité literatury .....	51
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	54

## Úvod

Vývoj lidstva a existence lidské společnosti je od počátku závislá na energii a to především tepelné, získávané ze spalování dostupných materiálů. Primárním zdrojem energie pro lidstvo se stalo spalování biomasy – hlavně dřeva. Masivní kácení lesů však způsobilo již ve středověku významné změny životního prostředí v celých oblastech. Rozvoj průmyslu s sebou nesl požadavek na nové zdroje s větší výhřevností, ekonomičtější dopravou a způsobem spalování. Tyto požadavky plnily po dlouhá léta uhlí a ropa, které dočasně téměř nahradily biomasu. Jelikož se ale jedná o zdroj neobnovitelný a jeho zásoby jsou limitované, nemůžeme do budoucna počítat jen s ním. Jeho těžba je navíc mnohdy spojená s významnými zásahy do krajiny. To nás dovedlo k hledání nových zdrojů a způsobů jak fosilní paliva postupně nahrazovat. Z toho důvodu se začíná znovu využívat biomasa nebo odpady a jejich směsi. V minulosti došlo při získávání energie a těžbě paliv k rozsáhlým devastacím území, některé oblasti byly poškozeny nevratně, jiné se postupně daří navracet do původní podoby.

Při nedokonalém spalování vzniká celá řada jedovatých a karcinogenních látek, velké množství tuhých nečistot, poléťavého prachu a popílku. V dnešní době už není možno plýtvat jakýmkoliv zdroji využitelné energie, klade se důraz na co nejekonomičtější a nejefektivnější spalování a zároveň je potřeba minimalizovat dopad na životní prostředí.

S ohledem na rostoucí paletu používaných paliv je potřeba určovat jejich vlastnosti a kvalitu. Vlastnosti paliv jsou důležitým kritériem pro úpravu paliva, jeho dopravování, také při navrhování konstrukce a provozu spalovacích zařízení. Důkladné prostudování vlastností paliv tak napomáhá jejich efektivnímu využití. V současné době využíváme nejrůznější metody měření, jejichž průkaznost je předepsána příslušnými normami. Cílem těchto postupů je optimalizace výstupních hodnot měření a dosažení maximálního upřesnění vlastností daného druhu paliva.

# 1. Paliva

Pojem palivo vyjadřuje takovou hmotu, ze které se pomocí chemické reakce uvolní teplo, které můžeme dále využít. Toto teplo se získává spalováním paliv v zařízeních k tomu určených. Aby se ovšem látka dala označovat jako palivo, měla by kromě spalitelnosti splňovat některé další základní podmínky:

- schopnost vyvinout velké množství tepla na jednotku váhy
- výskyt ve velkých množstvích
- snadná dostupnost a těžba, případně výroba
- vhodnost pro dopravu
- udržení si vlastností i při skladování na vzduchu
- nejlépe žádné látky škodlivé pro lidi ani rostlinstvo nebo množství takových látek nesmí přesahovat určitou mez [1]

## 1.1. Rozdělení paliv

Rozdělení podle skupenství

- plynná (zemní plyn, vodík, propan-butan, svítiplyn, koksárenský plyn, vysokopeční plyn, generátorový plyn, LPG, skládkový plyn, bioplyn)
- kapalná (benzín, motorová nafta, petrolej, alkoholy, topné oleje, mazuty)
- pevná (uhlí, dřevo, brikety, rašelina, koks)

Rozdělení podle původu

- vyrobená (benzín, koks, odpady)
- přírodní (černé uhlí, dřevo)

Rozdělení podle období vzniku

- fosilní – nerostné suroviny vzniklé složitými procesy v dávných dobách přeměnou odumřelých rostlin a těl za nepřístupu vzduchu
- současná – paliva vzniklá v současnosti, např. dřevo

Rozdělení podle charakteru

- obnovitelné (biomasa, bioplyn, bioethanol)
- neobnovitelné (uhlí, ropa)

## 1.2. Fosilní paliva

Tato paliva získala název odvozený z fosilií, ze kterých vznikala, tedy z odumřelých těl živočichů a rostlin v dobách prvohor až třetihor. Vznikala dlouhodobými geologickými procesy při nízkých hladinách kyslíku, což zabránilo jejich kompletnímu rozkladu a oxidaci, díky tomu obsahují vysoké množství uhlíku. V závislosti na podmínkách vzniku (teplota, tlak, složení) se vyskytují v plynném (zemní plyn), kapalném (ropa) i pevném (uhlí) skupenství. Jejich hlavní využití je spalování v zařízeních, které vyrábí teplo nebo elektrickou energii. Snadná dostupnost a vysoký energetický potenciál fosilních paliv, významně pomohl v rozvoji lidské civilizace. Nevýhodou fosilních paliv je, že jsou neobnovitelné a tudíž vyčerpatelné, také se při jejich zpracování a spalování uvolňují skleníkové plyny, dále dochází k devastaci krajiny, znečišťování půdy a vodních ploch. [2]

### 1.2.1. Tuhá fosilní paliva

Tuhá fosilní paliva se dělí podle stáří a na základě jejich vzniku a vlastností na:

- rašelinu
- hnědé uhlí
- černé uhlí
- antracit

#### 1.2.1.1. Rašelina

Rašelinu lze definovat jako nahromaděný, částečně rozložený rostlinný materiál. Vzniká obvykle v bažinatých oblastech zvaných jako rašeliště. Na těchto místech je omezen rozklad rostlin díky kyselému prostředí a anaerobním podmínkám, takže dochází k postupnému vrstvení materiálu. Ročně takto přibude 0,5 až 2,5 mm. Rašelina obsahuje více než 75% vody, 50-60% uhlíku, 4-6% vodíku, 0,9-3,5 dusíku. Její výhřevnost s 25% vlhkostí je přibližně 14,5 MJ/kg až 17,5 MJ/kg.

Ložiska rašeliny se nalézají na mnoha místech na světě. Nejvíce se těží ve Finsku, Irsku, Bělorusku, Rusku a Švédsku. Rašelina má širokou škálu využití. Používá se například v zemědělství a zahradnictví, kde se přidává do půdy, díky kyselému charakteru a schopnosti uchovávat vlhkost, dále v potravinářství, při léčivých procedurách, ve stavebnictví a v energetice jako palivo. Při využití v energetice se musí obsažená vlhkost snížit pomocí vysoušení. [3]



Obrázek 1: Vysušená rašelina [4]

### 1.2.1.2. Hnědé uhlí

Hlavním znakem hnědého uhlí je jeho nahnědlá až hnědočerná barva. Vznikalo přibližně v době třetihor prouhelňováním rostlinných a živočišných zbytků. Podle stupně prouhelňování se dělí na měkká – lignit a tvrdá. Lignit je nejmladší druh hnědého uhlí, lze na něm rozeznat suky, kůru a větve, má také nejnižší výhřevnost, bývá proto označován jako uhlí podřadné. Ložiska hnědého uhlí se nachází většinou těsně pod povrchem země, takže je těženo povrchovou těžbou.

Oproti rašelině má nižší obsah vody 20 až 60% a vyšší obsah uhlíku kolem 70%. Výhřevnost hnědého uhlí je uváděna od 13 MJ/kg do 23 MJ/kg.

Hnědé uhlí je využíváno zejména jako palivo v energetice, své uplatnění má ovšem i v chemickém průmyslu, kde bylo využito například k výrobě pohonných hmot nebo hnědouhelného dehtu. [3] [4]



Obrázek 2: Hnědé uhlí [6]



Obrázek 3: Lignit [7]

### 1.2.1.3. Černé uhlí

Černé uhlí je oproti hnědému výhřevnější a geologicky starší, vznikalo v prvohorách a druhohorách. Může být lesklé, matné nebo vláknité, typická je černá barva. Při úderu se rozpadá na hranolovité kusy s rovnými plochami. V některých místech se vyskytuje přímo pod povrchem, ale zpravidla se z ložisek získává hlubinnou těžbou. Černé uhlí je využíváno ve velkém energeticky, jelikož má vysokou výhřevnost (přibližně 23 – 28 MJ/kg) a při spalování vzniká malé množství popelovin.

Klasifikace černého uhlí je obtížná, neboť mezi jednotlivými druhy není tak patrný přechod. Nejvýraznější je rozdělení podle chování za tepelného rozkladu, což je také rozhodující pro následné použití. Takto rozeznáváme tato uhlí: pálavé, plynové, koksárenské, antracitové a antracit. Uhlí pálavé je typické vysokým podílem prchavé hořlaviny (nad 35%), dlouhým plamenem při hoření a velkým množstvím popelovin. Plynové uhlí získalo svůj název, protože je používáno k výrobě svítiplynu a má také vysoký podíl prchavé hořlaviny. Koksárenské uhlí je pro svoje vlastnosti, vysoký obsah uhlíku a prchavé hořlaviny (15-30%), vhodné pro výrobu hutnického koksu. Poslední

druh černého uhlí, nazývané antracitové, jsou charakteristické vysokým obsahem uhlíku a minimálním podílem prchavé hořlaviny (8-17%), spolu s antracitem jsou ideálním palivem pro stáložární kamna. [3] [4]



a)

b)

Obrázek 4: a) Černé uhlí – matné, b) černé uhlí – lesklé [4]

#### 1.2.1.4. Antracit

Antracit je geologicky nejstarší a nejkvalitnější druh uhlí. Je charakteristický svým někdy až kovovým leskem. Vyskytuje se nerovnoměrně v hlubinných ložiscích většinou společně černým uhlím. Antracit se vyznačuje vysokým obsahem uhlíku (90 – 97%), velice nízkým podílem prchavé hořlaviny (pod 10%) a minimálním obsahem vody (1-3%). Antracit dosahuje vůbec nejvyšší výhřevnosti ze všech druhů uhlí, až 37 MJ/kg. Při spalování se vyznačuje nízkou popelnatostí a minimální produkcí kouře. Pro svoje vlastnosti se používá zejména pro výrobu energie. [3] [4]



Obrázek 5: Antracit [4]



### 1.3. Biopaliva

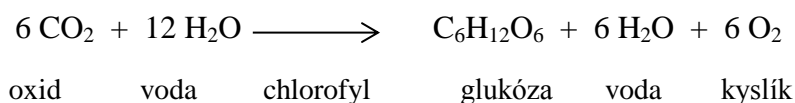
Biopaliva jsou produkty, které vznikají úpravou biomasy jako zdroj energie. Je to zdroj energie, která pochází z rostlin, jež byly vypěstovány a sklizeny v krátkém časovém měřítku, z toho plyne možnost jejich opakované produkce, na rozdíl od paliv fosilních, které ke svému vzniku potřebovaly miliony let. Způsob využití biomasy je do značné míry určen jejími fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Mezi důležité parametry patří vlhkost, respektive obsah sušiny v biomase, podle které se určuje hranice mezi mokřými procesy (obsah sušiny menší než 50%) a suchými procesy (obsah sušiny větší než 50%). Úpravy biomasy lze rozlišit na několik způsobů:

- termochemická přeměna (suché procesy):
  - spalování,
  - zplyňování,
  - pyrolýza,
- biochemická přeměna (mokré procesy):
  - alkoholové kvašení,
  - metanové kvašení,
- fyzikální a chemická přeměna:
  - mechanicky (štípání, drcení, lisování, briketování, peletování mletí)
  - chemicky (esterifikace surových bioolejů) [8]

#### 1.3.1. Biomasa

Biomasa je definována jako hmota organického původu, jelikož rostliny potřebují k růstu sluneční svit, označuje se někdy také jako akumulovaná energie ze slunce. Jedná se o záměrně pěstované rostliny nebo o odpad zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z údržby krajiny a péče o ni.

Rostlinná hmota vzniká za pomoci fotosyntézy, což je biochemický proces, při kterém se mění energie světelného záření na chemickou energii. Je to složitý, několikastupňový proces, ale zjednodušeně se dá říct, že jde o přeměnu oxidu uhličitého a vody za pomoci enzymů, chlorofylu a světelné energie na množství organických látek a kyslíku. Průběh fotosyntézy lze znázornit následovně:



Jedním z produktů fotosyntézy je glukóza, z které vznikají další sloučeniny charakteristické pro každou rostlinu. Polymerací glukózy poté vzniká celulóza, což je základní stavební materiál buněčných stěn rostlin. Z glukózy vznikají i další důležité látky, jako jsou cukry, oleje, pryskyřice, škroby atd. [9]

##### 1.3.1.1. Rostlinná biomasa

Do rostlinné biomasy patří zemědělské plodiny a rostliny pěstované přímo pro energetické účely. Rostlinná biomasa se dělí na:

- lignocelulózové rostliny – dřeviny, obiloviny, travní porosty, konopí, křídlatka, šťovík krmný a další
- olejnaté rostliny – slunečnice, len, řepka olejná, dýně
- škrobno-cukernaté rostliny – brambory, cukrová řepa a třtina, kukuřice

- rychlerostoucí dřeviny – vyšlechtěné dřeviny pro rychlý růst a vysokou produkci

### 1.3.1.2. Odpadní biomasa

Do odpadní biomasy patří biomasa, která již byla nějakým způsobem použita nebo která slouží primárně k jiným účelům, než je výroba energie. Patří zde zbytky rostlinného i živočišného původu z nejrůznějších odvětví průmyslové, zemědělské nebo potravinářské výroby. Odpadní biomasa se dělí na:

- rostlinné odpady – zbytky ze zemědělské výroby (řepková, kukuřičná, obilná sláma)
- lesní odpady – dřevní zbytky z těžby dřeva a probírek (kůra, větve, pařezy, kořeny)
- odpady z údržby krajiny – prořezy, křoviny, náletové dřeviny, zbytky ze sadů, vinic a travnatých ploch
- živočišné odpady – kejda, hnůj, zbytky krmiv,
- organické odpady – zbytky z potravinářských a průmyslových výrob (cukrovary, jatka, mlékárny, lihovary, dřevařské provozovny) [10]

### 1.3.2 Tuhá biopaliva

Tuhá biopaliva jsou primárně využívána ke spalování v energetice na výrobu tepla a elektrické energie. Nejvýznamnějším tuhým biopalivem jsou stromové dřeviny. Z rychlerostoucích dřevin jsou to, v našem zeměpisném pásmu, především topoly a vrby. Z běžně rostoucích listnatých stromů jsou to duby a buky, z jehličnatých smrky a borovice.

Výhřevnost dřeva a tuhé biomasy obecně závisí silně na vlhkosti, tudíž se před spalováním nechává většinou vysušit. Při optimálních 20% vlhkosti dosahuje přibližně 15 – 19 MJ/kg, což je srovnatelné s hnědým uhlím.

Stromy se zpracovávají na kusové dřevo požadované velikosti řezáním a štípáním. Dřevěné zbytky po zpracování kmenů – větve, kůra, kořeny, piliny a hobliny jsou dále upravovány štěpkováním, drcením nebo lisováním do podoby briket a pelet.

Do tuhých biopaliv patří také zemědělské plodiny a odpady, zejména zrna a stébla obilnin a stébla olejnatých rostlin ve formě slámy a sena, které se zpracovávají lisováním do balíků, nebo také do briket a pelet.



a)



b)

Obrázek 6: a) pelety z řepky [11], b) dřevěné brikety [12]

druh paliva	obsah vody [%]	výhřevnost [MJ/kg]	měrná hmotnost		
			[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/prm]	[kg/prm s]
listnaté dřevo	15	14,605	678	475	278
jehličnaté dřevo	15	15,584	485	340	199
borovice	20	18,4	517	362	212
smrk	20	15,3	455	319	187
dub	20	15,9	685	480	281
buk	20	15,5	670	469	275
bříza	20	15,0			
topol	20	12,9			
vrba	20	16,9			
olše	20	16,7			
akát	20	16,3			
dřevní štěpka	30	12,18			210
sláma obilovin	10	15,49			
sláma kukuřice	10	14,40			
lněné stonky	10	16,90			
sláma řepky	10	16,00			
dřevní pelety	6 – 12	16,5 – 18,5			600
dřevní brikety	6 – 12	16,5 – 18,5	1200		
stébelné pelety	8 – 15	16,5 – 19			580
stébelné brikety	8 – 14	16,5 – 19	1100		

Tab. 1: Vlastnosti vybraných druhů tuhých biopaliv [13]

## 1.4. Odpady

Definice odpadu je dána zákonem č.185/2001 Sb. (Zákon o odpadech), podle kterého je odpad každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů uvedených v příloze č. 1 (Katalog odpadů) k tomuto zákonu.

Odpady lze dělit podle původu na:

- komunální odpad
- odpady vznikající z těžby
- průmyslový odpad
- zemědělský odpad

Zákon o odpadech také definuje možnosti nakládání s odpady:

- a) předcházení vzniku odpadů
- b) příprava a k opětovnému použití
- c) recyklace odpadů
- d) jiné využití odpadů, například energetické využití
- e) odstranění odpadů

Z toho vyplývá, že zákon povoluje odstraňování odpadů spalováním. Děje se tak ve spalovnách nebo v cementárnách a odpad se takto energeticky využívá k výrobě tepla a elektrické energie. Smyslem spalování odpadů je upravit odpad tak, aby se zmenšil jeho objem, odstranila se prchavá hořlavina a jiné potenciálně nebezpečné látky, které mohou způsobovat vznik skládkových plynů. Nevýhodou spalování odpadů je, že spaliny musí být následně čištěny výrazně důkladněji pomocí technologicky náročných procesů.

Další možností jsou certifikovaná paliva. Jedná se o upravené palivo z komunálních odpadů, které má předem stanovené vlastnosti a složení. Tato metoda klade menší nároky na technologii spalování oproti přímému spalování odpadů. [14]

druh paliva	voda [%]	výhřevnost [MJ/kg]	popeloviny [%]	prchavá hořlavina [%]
PVC odpad	-	19	0,5	49
pryžový odpad	-	13	63	36
kožený odpad	14	18	5	58
staré pneumatiky	-	36	6,5	-
pryskyřicový odpad	-	17	-	-
městské odpady	12	4	60	-

*Tab. 2: Vlastnosti vybraných druhů odpadových paliv [15]*

## 2. Vlastnosti a složení paliv

Složení paliva je nejzákladnější charakteristikou paliva, ze které se určují další vlastnosti a následné použití paliva. Složení tuhých paliv se určuje:

- hrubým rozбором – základní rozbor, u kterého se stanoví poměrný obsah vody ( $W^r$ ) a popelovin ( $A^r$ ), určí se výhřevnost paliva ( $Q_v$ ), prchavá a neprchavá hořlavina
- elementárním rozбором – stanoví se navíc poměrné obsahy jednotlivých prvků v hořlavině

### 2.1. Hrubý rozbor

Hrubý rozbor paliva určuje poměr mezi hořlavinou ( $h$ ), popelovinou ( $A^r$ ) a vodou ( $W^r$ ) obsaženou v palivu. Součet těchto tři hodnot musí dávat 100%, takže ze znalosti obsahu vody a popela lze vypočítat hořlavina[15]:

$$h + A^r + W^r = 100\%$$

Názorné rozdělení hrubého rozboru popisuje následující tabulka:

	← Surové uhlí →		
přimísená voda			
	voda $W^r$	popeloviny $A^r$	hořlavina $h$
přítěž (balast)		prchavý podíl	tuhý podíl
	bezvodé uhlí (sušina)		
spálením vznikne:			
vodní pára	tuhé zbytky – škvára (struska), popílek		spaliny

Tab. 3: Hrubý rozbor paliva [16]

#### 2.1.1 Voda v palivu

Většina tuhých paliv obsahuje určité množství vody. Ta je hned z několika důvodů v palivě nežádoucí, snižuje výhřevnost paliva, způsobuje komplikace při dopravě i samotném spalování. Vzniklá vodní pára zvětšuje objem spalin a může mít vliv také na korozi kotle.

Voda je v palivu vázána několika způsoby[15]:

- povrchová voda – zachycená voda na povrchu paliva
- přimísená voda – voda, která se dostala do paliva při těžbě
- hrubá voda – voda obsažená v palivu, odstranitelná volným sušením
- volná voda – součet vody povrchové, přimísené a hrubé
- kapilárně vázaná voda – voda obsažená v kapilárách paliva, která zůstala po odstranění hrubé vody, zjistí se úbytkem hmotnosti po vysušení na 105°C
- odkludovaná voda – chemicky vázaná na hořlavinu, nevysušitelná
- hydrátová voda – voda vázaná v popelovinách
- veškerá voda – součet veškeré vody obsažené v palivu

veškerá voda	volná	povrchová
		přimísená
		hrubá
	chemicky vázaná voda	hydrátová
		odkludovaná

Tab. 4: Voda v palivu

### 2.1.2 Popelovina

Jedná se o minerální látky, např. křemičitany, uhličitany, sírany a další, které jsou obsažené v tuhém palivu a po jejichž spálení vzniká tuhý zbytek – popel. Zdrojem popele mohou být i nečistoty, které se do paliva dostaly při těžbě, převozu nebo skladování, nejčastěji hlína a kamení.

Popel může být v podobě struzky, škváry nebo popílku. Jeho forma záleží na podmínkách spalování, proto jsou velice důležité tzv. charakteristické teploty popele, které určují chování popele při různých teplotách. Na tyto teploty má vliv zejména prvkové složení popele. Stejně jako voda zhoršuje kvalitu paliva. [15]

### 2.1.3 Hořlavina v palivu

Hořlavina je část paliva, jejímž spálením dochází k požadovanému uvolňování tepla. U tuhých a kapalných paliv se skládá z uhlíku, vodíku, síry, dusíku a kyslíku. Oxidací uhlíku, vodíku a síry se uvolňuje teplo, proto se tyto prvky nazývají aktivní.

Hořlavina se dělí na prchavou a neprchavou – tuhou ve formě uhlíku. Prchavá hořlavina je část hořlaviny, která se uvolňuje na začátku spalování při teplotách nad 250 °C, pomáhá se vznícováním paliva a stabilizuje proces spalování. Když nedojde k vyhoření prchavé hořlaviny, odejde z kotle se spalinami. [15]

### 2.1.4. Spalné teplo

„Spalné teplo  $Q_s$  [kJ/kg] je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na 20 °C, přičemž voda ve spalinách zkondenzuje tj. je v kapalně fázi.“ [15]

### 2.1.5. Výhřevnost

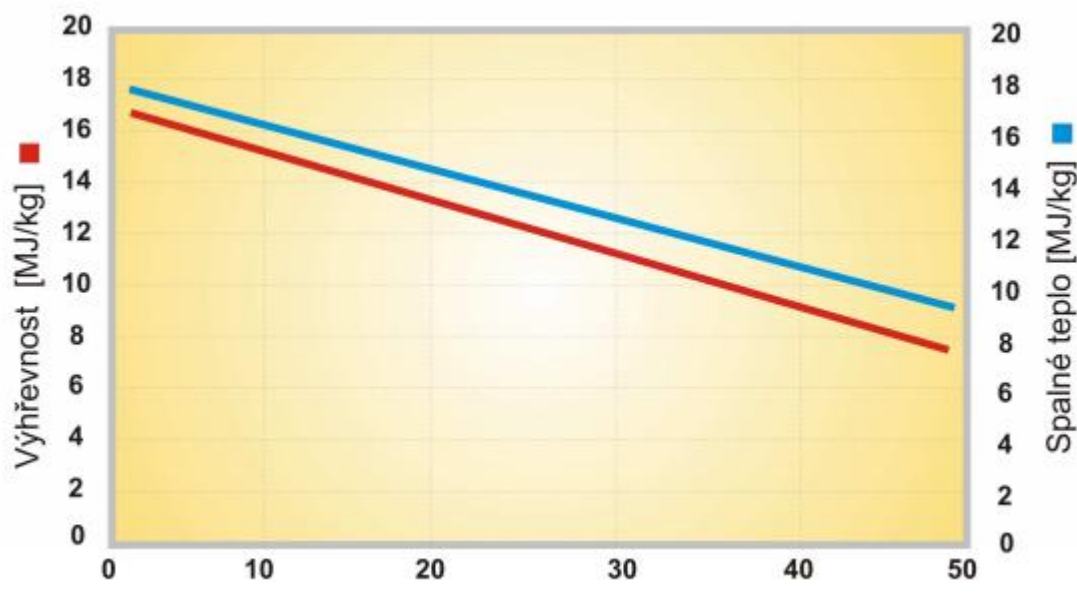
„Výhřevnost  $Q_i^r$  [kJ/kg] je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na 20 °C, přičemž voda ve spalinách zůstane v plynné fázi.“ [15]

Výhřevnost lze určit pomocí několika empirických vztahů, například jako funkci jednotlivých prvků paliva. V praxi dochází často ke spalování směsi různých paliv, výhřevnost lze potom vypočítat pomocí vzorce [15]:

$$Q_i^r = Q_{i1}^r \cdot m_1 + Q_{i2}^r \cdot m_2 + \dots + Q_{in}^r \cdot m_n$$

$Q_{i n}^r$       výhřevnost dílčího paliva [kJ/kg]  
 $m_n$       hmotnostní podíl paliva [kg]

Výhřevnost i spalné teplo závisí také na obsahu vlhkosti v palivu:



Obrázek 7: Závislost výhřevnosti a spalného tepla na množství vlhkosti v palivu [17]

## 2.2. Elementární rozbor

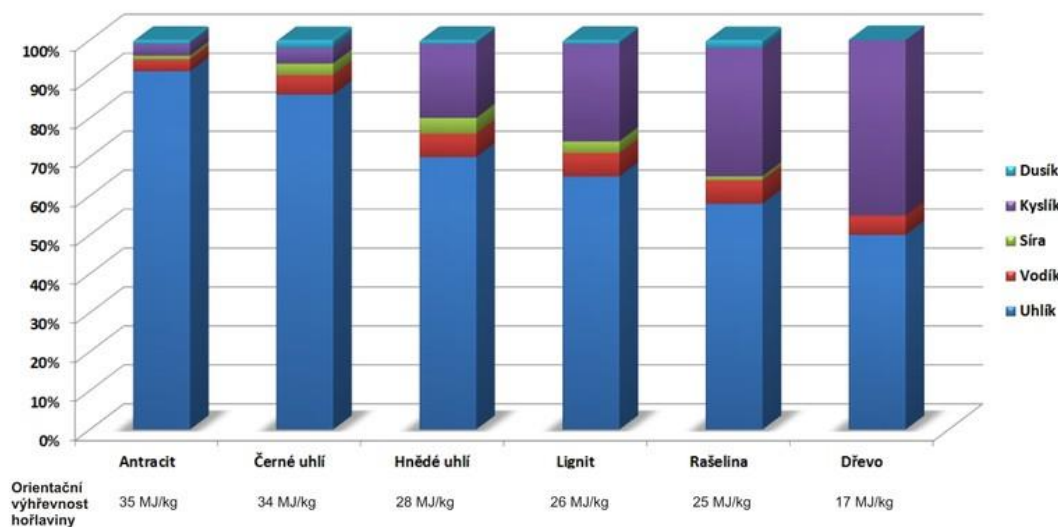
Když z určitých důvodů není hrubý rozbor dostačující, provádí se rozbor prvkový. Ten sestává z rozboru prvků, které jsou důležité z hlediska spalování a hořlaviny.

Rozšířená rovnice o prvkový rozbor poté vypadá následovně:

$$C + H + N + O + A^r + W^r = 100\%$$

Množství uhlíku (C), vodíku (H) a dusíku (N) se určí vhodnými instrumentálními metodami a zbylý kyslík (O) se při známém množství hořlaviny dopočte.

Prvkové zastoupení v hořlavině pro vybraná paliva porovnává následující obrázek:



Obrázek 8: Srovnání prvkového složení hořlaviny různých paliv [17]

### 2.2.1. Nežádoucí prvky v palivu

Kromě prospěšných prvků v palivu, které kladně ovlivňují vlastní spalovací proces, jsou v palivech přítomny i nežádoucí prvky, které způsobují četné komplikace. Mezi nejvýznamnější nežádoucí prvky patří síra (S) a chlór (Cl).

Navzdory tomu, že síra patří k aktivním složkám hořlaviny a má tedy energetický přínos, pro své četné negativní účinky, je v palivu nežádoucí. Způsobuje vznik oxidu siřičitého ( $\text{SO}_2$ ), může docházet ke struskování a při podkročení rosného bodu spalin vzniká kyselina sírová ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), která způsobuje korozi zařízení.

Chlor stejně jako síra, vytváří za určitých podmínek kyselinu – chlorovodíkovou (HCl), která taktéž způsobuje korozi zařízení. Kromě kyseliny dochází také v tvorbě nebezpečných dioxinů. [18][19]

### 2.3. Další důležité vlastnosti

Kromě základních vlastností a složení paliva můžeme u tuhých paliv a biopaliv sledovat některé další vlastnosti, důležité z hlediska úpravy, skladování nebo samotného spalování. Mezi tyto vlastnosti patří:

- melitelnost – schopnost dělit se menší částice působením mechanických sil
- zrnitost – charakterizována podílem zrn o určité velikosti
- samovznětlivost – při skladování uhlí vzniká k oxidaci při kontaktu se vzduchem, vzrůstá teplota, může dojít k zapálení
- měrná hmotnost
- sypná hmotnost – hmotnost volně sypaného paliva
- spékavost – vlastnost spojovat se ve větší shluky, mírná spékavost není na škodu (není tak velký propad), vyšší spékavost omezuje přístup vzduchu a komplikuje odvod popele z roštu
- abrazivita popele – schopnost popílku obrušovat části zařízení [15][20]



### 3. Vzorkování

Před samotným měřením vlastností daného paliva nejprve potřebujeme mít vzorek, který budeme měřit. Odběr vzorku a nakládání s ním podléhá řadě zásad stanovených příslušnými normami.

Základní podmínkou je odebrání reprezentativního vzorku ze zkoušeného celku. Takový vzorek musí mít fyzikální i chemické vlastnosti shodné s průměrnými hodnotami celkového objemu, který je zkoumán. Špatný vzorek nám podá zkreslené informace i při použití velmi přesných zkušebních metod, v tomto jsou problémové zejména heterogenní materiály.

Před odebráním vzorku se musí připravit vzorkovací plán, který zahrnuje informace o podmínkách odběru vzorku. Tento plán obsahuje zvolenou metodu odběru, nástroj pro odběr vzorku, místo odběru vzorku, předpokládané množství vzorků a hmotnosti vzorku.

Technika vzorkování závisí také na způsobu skladování nebo přepravy paliva. Správný odběr vzorku ze stacionárních materiálů, uložených ve vagónech, lodích, nákladních autech, haldách, silech apod. je komplikovaný a proto se přednostně provádí z pohybujícího materiálu (proudu).

Odebrané vzorky se skladují v zapečetěných vzorkovnicích, které jsou vzduchotěsné, aby nedocházelo ke změně vlhkosti a přimísení mechanických nečistot. Vzorek by se měl analyzovat tak rychle, jak je to jen možné a neměl by být ve vzorkovnici déle než týden.

Označená vzorkovnice musí obsahovat tyto údaje:

- identifikační číslo vzorku
- rozměry a název vzorku
- místo, datum a čas odběru a úpravy vzorku
- hmotnost obalu a hmotnost vzorku
- přibližná hmotnost celku
- značku a druh paliva
- metoda vzorkování
- jméno vzorkaře

Zároveň musí být zhotovena podepsaná zpráva o vzorkování nebo certifikát, který zaznamenává všechny příslušné informace o vzorkování, úpravě a distribuci vzorku. Jakákoliv odchylka od vzorkovacího plánu nebo anomálie, pozorovaná během měření, musí být uvedena ve zprávě. [21] [22]

#### 3.1. Nástroje pro vzorkování

Odběr vzorku lze provést dvěma způsoby. Pomocí mechanických vzorkovačů nebo zařízení pro ruční odběr vzorku. Mechanické vzorkovače se využívají pro odběr vzorku z přepadu proudu, z povrchu dopravních pásů, železničních vagónů nebo dalších dopravních prostředků. Pro ruční odběr vzorku slouží následující nástroje: krabice pro vzorkování z proudu, lopaty, vzorkovací trubice háky, mechanické sondy a vidle. Volbu nástroje ovlivňuje místo odběru a druh paliva.

Na vzorkovací zařízení jsou kladeny tyto nároky:

- šířka otvoru vzorkovače musí být větší než maximální rozměr kusů vzorkovaného paliva (min. 2,5 krát při odběru na přepadu, 2 krát při odběru z dopravních pásů a 1,5 krát při odběru z dopravních prostředků)
- objem zařízení musí být takový, aby při odběru vzorku nedošlo k jejich přeplnění
- po dokončení odběru vzorků se musí odběrné zařízení zcela vyprázdnit
- zařízení pro odběr vzorku z proudu musí být schopno na jedno nebo několik protnutí odebrat vzorek z celého příčného průřezu
- zařízení musí mít možnost změny časového intervalu odběru vzorků, manuální zapínání a vypínání
- vrtný vzorkovač pro odběr vzorků z paliva naloženého z dopravních prostředků musí odebírat vzorky v hloubce menší než 3/4 výšky naloženého paliva, při odběru pomocí jeřábu minimálně v hloubce 0,4 metru od povrchu vrstvy paliva [22] [23]

### 3.2. Způsoby odběru vzorku

Způsob odběru vzorku závisí na okolnostech, v jakých se palivo nachází. Nejvýhodnější, co se týče dodržení podmínek vzorkování, je odběr vzorku z proudu pohybujícího se materiálu. V praxi se ale setkáváme s dalšími metodami vzorkování, jako je odběr vzorku z povrchu pásu, z železničních vagónů a nákladních automobilů, z lodí a říčních člunů, z hromad, hald a balíků.

#### 3.2.1. Odběr z proudu

Vzorky z proudu se odebírají při nakládání nebo vykládání dopravních prostředků a také při dopravě paliva dopravními pásy. Vzorky z proudu se odebírají mechanickými vzorkovači nebo ručním odběrem, jestliže nedosahuje dopravní pás větší rychlosti než je stanovená pravidly bezpečnosti (do 1 m/s).

Dílčí vzorky se odebírají ve stejných časových intervalech, které se nesmí shodovat s frekvencí změn jakosti paliva. Výpočet časového intervalu pro odběry se vypočítá pomocí vzorce:

$$t = \frac{60 \cdot M}{Q \cdot n}$$

t.....časový interval odběru [s]  
 M.....hmotnost vzorkovaného celku [t]  
 Q.....výkon vzorkovaného proudu [t/h]  
 n .....počet dílčích vzorků

Při odběru z povrchu pohybujícího se pásu se vzorky odebírají z celého průřezu proudu kolmo nebo pod úhlem k jeho ose tak, aby odběrné zařízení nevyvolávalo odpor pohybujícímu se palivu.

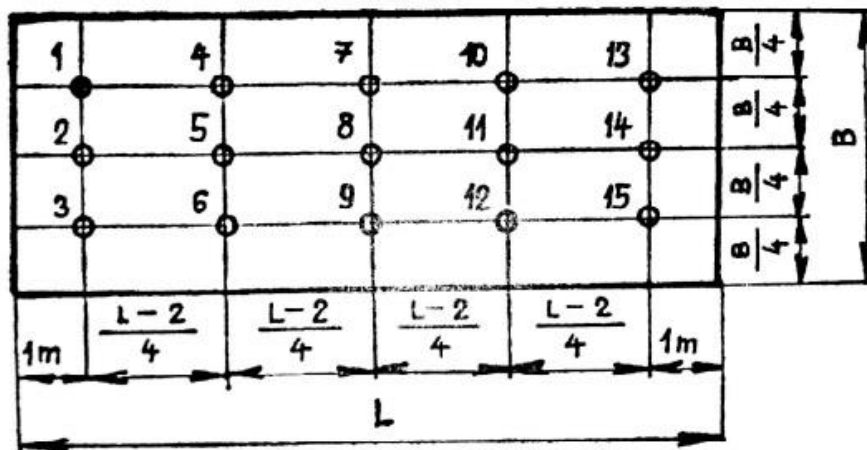
#### 3.2.2. Odběr z povrchu zastaveného pásu

Tento způsob se používá pro prověření všemi známými způsoby vzorkování. Dílčí vzorky se odebírají pomocí šablony, která se umístí kolmo ke směru proudu paliva. Do vzorku se počítá veškeré palivo zachycené do šablony. Šablona sestává ze dvou rovnoběžných, kolmo k pásu umístěných stěn, které jsou ve vzdálenosti minimálně dvojnásobku maximálního rozměru zrna. Šablona se pokládá v přesně vymezeném místě a musí přiléhat k povrchu pásu. [22] [23]

### 3.2.3. Odběr z železničních vagónů a nákladních automobilů

Tato metoda odběru se využívá jen v případech, kdy není možné odebrat vzorek z proudu. Dílčí vzorky se odebírají ze stanovených míst, rovnoměrně rozložených na povrchu vagónů a nákladních aut.

Při zrnění paliva do 25 mm se vzorky odebírají sondou. Ručně se vzorky odebírají ze dna vytvořených jamek, v hloubce minimálně 0,4 od povrchu paliva. Při zrnění do 100 mm se odebírá vzorek jednorázově a z paliva o zrnění nad 100 mm se vzorky odebírají ve dvou až třech částech, přičemž musí obsahovat potřebnou hmotnost dílčích vzorků. Schéma rozmístění odběrových jamek je znázorněno na obrázku č. 9.



Obrázek 9: Rozložení míst odběru vzorků z vagónu [23]

Pro odběr z vagónů a nákladních automobilů se také používají průmyslová jeřábová zařízení. Zde platí, že šířka rozevření čelisti jeřábu nesmí být menší než polovina šířky vagónu a šířka čelisti ne méně než 2,5 násobek maximálních kusů vzorkovaného paliva.

Vzorky odebrané jeřábem, se shromažďují do sběrného zásobníku, ze kterého jsou poté podávány do mechanického vzorkovače. [23]

### 3.2.4. Odběr z lodí a říčních člunů

Z lodí a říčních člunů se vzorky odebírají jenom v případě, kdy není možné použít metodu odběru z proudu, vagónů nebo nákladních automobilů. Vzorky se odebírají pomocí jeřábových zařízení. Takto odebrané dílčí vzorky se opět shromažďují do sběrného zásobníku, odkud jsou rovnoměrným proudem podávány do mechanického vzorkovače. Z každého dílčího vzorku odebraného jeřábem musí vzorkovač odebrat jeden dílčí vzorek o požadované hmotnosti.

Frekvence odběru dílčích vzorků odebraných jeřábem se vypočte ze vzorce:

$$f = \frac{M}{q \cdot n}$$

f.....frekvence odběru

M.....hmotnost vzorkovaného celku [t]

q.....kapacita jeřábu [t]

n.....počet dílčích vzorků

Jestliže je palivo na lodi jednoho typu nebo třídy zrnění, odebírá se z paliva jeden hrubý vzorek. Pokud je převáženo palivo různých typů nebo třídy zrnění, jednotlivá paliva se považují za samostatnou zásilku, ze které se odebírá hrubý vzorek.

Když není možné odebrat vzorek z proudu nebo pomocí jeřábu, povoluje se přímý odběr vzorů z říčních člunů. [23]

### 3.2.5. Odběr z velkých kusů a balíků

Tato metoda vzorkování se používá u materiálů, který je ve formě velkých kusů nebo balíků, jejichž velikost je větší než 100 mm, tudíž se nedají použít klasické nástroje jako lopata nebo vidle. Jednotlivé kusy paliva nebo balíky jsou vybírány náhodně. Je nutné určit minimální počet balíků, které budou vzorkovány. A to pomocí vzorce:

$$X = 5 + 0,025 \cdot M$$

X.....počet balíků ke vzorkování

M.....hmotnost vzorkovaného celku [t]

Každý odebraný balík je jeden dílčí vzorek, je však nutné snížit hmotnost vzorku pomocí vrtání nebo řezání. [22] [23]

### 3.2.6. Odběr z hromad paliva

Pro odběr vzorku z hromad a hald paliva se používá lopata nebo vzorkovací trubice. Hromada se vizuálně rozdělí na tři vodorovné vrstvy a z každé vrstvy se odeberou dílčí vzorky v počtu odpovídajícímu objemu dané vrstvy. Polohy vyhloubených jamek musí být rovnoměrně rozděleny a nesmí se odebírat z nižších částí hromady než je 300 mm. [22] [23]

## 3.3. Počet vzorků

Finální vzorek, který se odešle na rozbor do laboratoře, sestává z určitého počtu dílčích vzorků. Počet dílčích vzorků závisí na druhu paliva, hmotnosti celku a jeho rozměrech.

### 3.3.1. Vzorky pro tuhá fosilní paliva

Počet dílčích vzorků odebraných z celku černého uhlí a antracitu o hmotnosti do 1000 tun nebo z celku hnědého uhlí, břidlic a lignitu o hmotnosti do 2500 tun je uveden v tabulce č. 5:

Stav paliva	Počet dílčích vzorků n	Minimální hmotnost vzorku
upravená	min. 16	$m = 0,06 \cdot D$
neupravená	min. 32	

Tab. 5: Počet a hmotnost dílčích vzorků tuhých fosilních paliv [23]

Pod upravená paliva patří taková paliva, která jsou upravené mokřím způsobem, s maximálním obsahem popela do 15%. Ostatní druhy paliv se považují za neupravená. Pokud celek nedosahuje hmotnosti alespoň 500 tun, odebírá se 16 dílčích vzorků nezávisle na stavu paliva.

Pro odběr z celků přesahující uvedené hmotnosti se počet dílčích vzorků vypočítá podle následujícího vzorce: [23]

$$n_1 = n \cdot \sqrt{\frac{M}{c}}$$

$n_1$ .....počet dílčích vzorků

$n$ .....počet dílčích vzorků uvedených v tab. 5

$M$ .....hmotnost vzorkovaného celku [t]

$c$ .....hmotnostní konstanta (1000 pro černé uhlí, 2500 pro hnědé uhlí a lignity)

Počet dílčích vzorků pro hnědá uhlí a lignity je podrobněji v normě ČSN ISO 5069-1. V normě je stanoveno minimální množství dílčích vzorků pro hrubý vzorek, určený pro stanovení vody a obecný rozbor, pro který slouží společný vzorek. Dále uvádí alternativní postup vzorkování při hmotnostech vyšších než 2500 tun. Postup spočívá v rozdělení celku na části o maximální hmotnosti 2500 tun a odebrání hrubého vzorku z takto rozdělených částí.

metoda odběru	upravené palivo		neupravené palivo	
	vzorek pro stanovení obsahu vody	společný vzorek	vzorek pro stanovení obsahu vody	společný vzorek
z proudů a pásů	8	16	16	32
z vagónů a člunů	8	24	16	48
z hromad a hald	8	32	16	64

Tab. 6: Počet dílčích vzorků hnědé uhlí a lignitů [24]

Počet dílčích vzorků pro paliva ve formě uhelných briket popisuje tabulka 7. U briket platí, že dílčí vzorek musí mít hmotnost aspoň 3 kilogramy a musí obsahovat nejméně 4 brikety o rozměru 63 – 95 milimetrů.

	druh odběru					
	z proudu			stacionární materiál		
hmotnost celku	do 50 t	50 – 150 t	151 - 1000 t	1 – 3 vagony	nad 3 vagony	150 – 1000 t
počet dílčích vzorků	10	2 / 10 t	32	5	25	48

Tab. 7: Počet dílčích vzorků uhelných briket [25]

### 3.3.2. Vzorky pro tuhá biopaliva

Pro biopaliva závisí počet dílčích vzorků, které se mají z celku odebrat, na nestejnorodosti vzorkovaného materiálu. Materiál se musí nejprve přiřadit do jedné ze skupin, popsané v tabulce 8.

skupina 1	skupina 2	skupina 3
stejnorodé biopalivo horní jm. rozměr < 10 mm	stejnorodé biopalivo horní jm. rozměr > 10 mm	nestejnorodé biopalivo
například: dřevěné hobliny piliny	například: dřevní štěpky dřevní pelety ořechové skořápky	například: zbytky po těžbě dřeva kůra

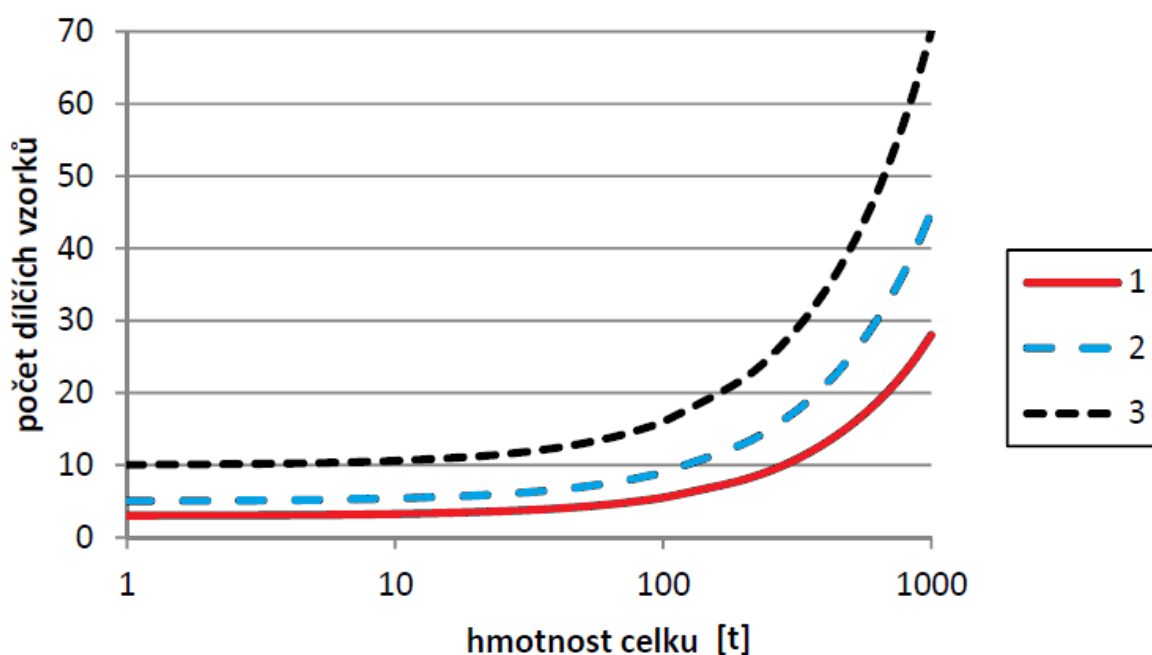
Tab. 8: Určení materiálu podle nestejnorodosti [22]

Minimální počet dílčích vzorků pro jednotlivé skupiny se dá poté vypočítat pomocí rovnic v tab. 9 nebo odečíst z grafu.

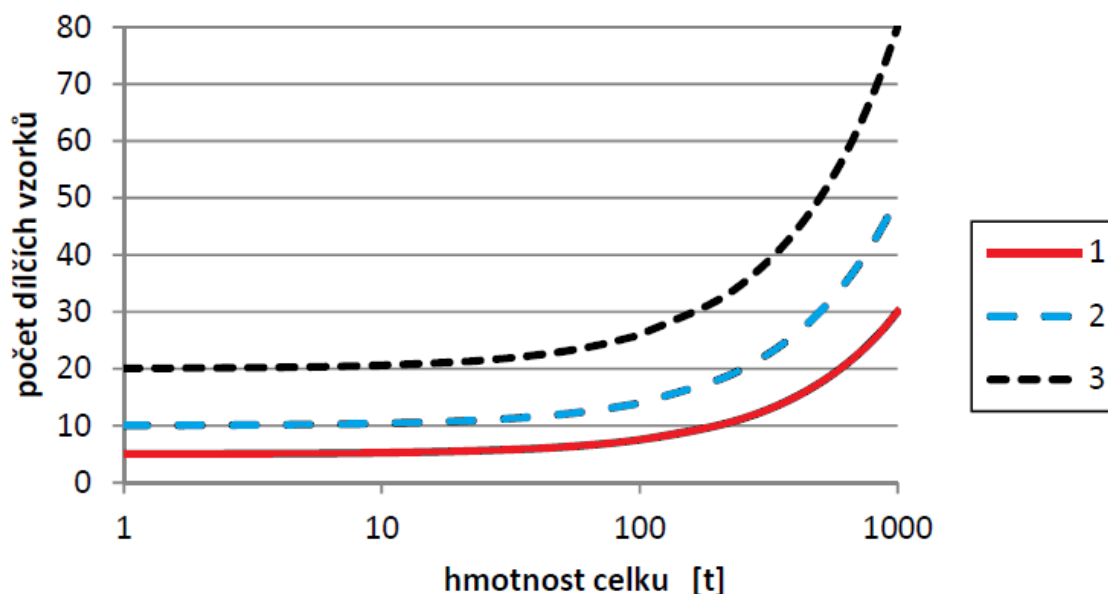
skupina	počet dílčích vzorků n	
	odběr z proudu	odběr ze stacionárního materiálu
1	$n = 3 + 0,025 \cdot M_{\text{lot}}$	$n = 5 + 0,025 \cdot M_{\text{lot}}$
2	$n = 5 + 0,04 \cdot M_{\text{lot}}$	$n = 10 + 0,04 \cdot M_{\text{lot}}$
3	$n = 10 + 0,06 \cdot M_{\text{lot}}$	$n = 20 + 0,06 \cdot M_{\text{lot}}$

Tab. 9: Výpočet dílčích vzorků pro biopaliva [22]

Grafy znázorňují závislost minimálního počtu dílčích vzorků na hmotnosti z odebíraného celku:



Obrázek 10: Počet dílčích vzorků při odběru z proudu [22]



Obrázek 11: Počet dílčích vzorků při odběru z nestacionárního materiálu [22]

### 3.4. Úprava vzorků

Úprava vzorku zahrnuje množství operací, po kterých je vzorek vhodný k laboratornímu měření. Základní podmínkou úprav je, aby byla zachována reprezentativnost vzorku a nedošlo ke ztrátám nebo znečištění vzorku. Úprava se provádí v uzavřených prostorech, bez přímého slunečního svitu, průvanu a dalších atmosférických vlivů. V těchto prostorech je také omezeno vytápění, aby nedošlo k ovlivnění vzorku.

Vzorky musí být zpracovány neprodleně po dodání a to pomocí těchto operací:

- drcení a mletí
- mísení
- redukce hmotnosti dělením

Upřednostňována je mechanická úprava pomocí zařízení jako jsou děliče a drtiče, případně je možné vzorek upravit i ručním způsobem. Úprava vzorků je prováděna jednostupňovým nebo dvoustupňovým postupem.

Jednostupňovou úpravou dosáhneme u vzorku přímo požadované zrnitosti a to při velikosti zrn do 45 mm. Tato metoda je používána k úpravě vzorků pro stanovení obsahu vody. Dvoustupňová úprava je využívána v případech, kdy není vhodný mlýn pro jednostupňovou úpravu a velikost zrn přesahuje 45 mm. Dvoustupňová metoda se používá pro obecný rozbor. [22] [23] [24]

#### 3.4.1. Úprava vzorku pro stanovení obsahu vody

Pro stanovení obsahu vody se použije zvláštní vzorek pro stanovení obsahu vody nebo se oddělí část ze společného vzorku. Poté se použije metoda podle toho, jaké zařízení máme k dispozici.

Pro uzavřený mlýnek se použije jednostupňová metoda, kdy se vzorek rozemele na rozměry zrn 3,15 mm. Výsledný vzorek musí mít hmotnost 500g.

Pokud není k dispozici uzavřený mlýnek, použije se dvoustupňová metoda. Vzorek se takto nejprve podrtí, aby prošel sítím 20 mm, poté se rozdělí na hmotnost 2 kg a suší se do rovnováhy obsahu vody s atmosférou. Následně se vzorek rozemele na 3,15 mm. [23] [24]

### **3.4.2. Úprava vzorku pro obecný rozbor**

Pro obecný rozbor se použije zbytek po oddělení vzorku na stanovení vody ze společného vzorku. Vzorek se rozemele na rozměr zrna 3,15 mm. Poté se oddělí na hmotnost 4 kg, suší se do rovnováhy s atmosférou a opět se oddělí na 2 kg. Touto úpravou získáme laboratorní vzorek, který se dále dělí na 3 vzorky podle použití:[23] [24]

- vzorek pro stanovení dehtovitosti
- vzorek pro obecný rozbor (analytický vzorek)
- vzorek pro kontrolní účely



## 4. Měření vlastností paliv

Zkoušky měření vlastností paliv musí probíhat podle podmínek daných normou pro konkrétní metodu. Zkoušky by měly být prováděny kvalifikovanou osobou v laboratořích, které mají s analýzami zkušenosti a mají zajištěný systém jakosti. Zkoušky jsou zaměřeny na stanovení užitečných vlastností ovlivňující přímo spalování (obsah vody, uhlíku, popela, výhřevnost) a na faktory ovlivňující emise a životní prostředí (obsah síry, chlóru).

Po každém měření musí být sepsán protokol, který obsahuje tyto informace:

- datum stanovení
- identifikaci laboratoře
- identifikace vzorku
- odkaz na normu
- použitou metodu měření
- výsledky zkoušky, početní stav a použité jednotky
- neobvyklé skutečnosti zaznamenané během zkoušky
- jakýkoliv jiný postup, neuvedený v použité normě

### 4.1. Obsah vody v palivu

Metody používané k určení obsahu vody lze rozdělit podle principů na:

- metody přímé
  - váhová (gravimetrická)
  - destilační
- metody nepřímé
  - metody založené na stanovení vlhkosti na základě specifických vlastností vody
    - metoda odezvy chemických reakcí
    - metoda pohltivosti elektromagnetického záření vysokých frekvencí
    - spektrometrická metoda
    - metoda nukleární magnetické rezonance
    - metoda pohlcování gama a rentgenového záření
    - metoda měření útlumu mikrovlnné energie
  - metody založené na měření jiných veličin
    - metody změn elektrických vlastností materiálu
    - metody změn tepelných vlastností materiálu [26]

#### 4.1.1. Přímé metody

Mezi přímé metody patří gravimetrická a destilační metoda. Jedná se o laboratorní destruktivní metody, které fungují na principu oddělení vody z tuhé fáze paliva. Tyto metody jsou velmi přesné, avšak časově náročné, složité na přípravu a nevhodné pro nehomogenní směsi paliv.

### 4.1.2. Nepřímé metody

Výhoda nepřímých metod spočívá v možnosti použití pro kontinuální měření a rychlost provedení samotného měření. Hlavními nevýhodami jsou složitost zařízení, vysoká cena a v některých případech problematika s byrokracií.

Nepřímé metody se dělí podle použitelnosti na formě paliva, na metody schopné měření proudu a metody, které potřebují nejprve odebrat množství paliva z proudu. [26]

### 4.1.3. Gravimetrická metoda

Metoda vhodná k měření obsahu vody všech druhů tuhých paliv a biopaliv. Princip spočívá v měření změny hmotnosti paliva při sušení v sušárnách, halogenových a infračervených sušících váhách. Pomocí této metody lze měřit obsah hrubé vody, zbylé vody, veškeré vody a obsah vody v analytickém vzorku.



a)



b)

Obrázek 12: a) Halogenová sušící váha[27], b) Laboratorní sušárna [28]

#### 4.1.3.1. Hrubá voda

Velikost zrn vzorku nesmí přesahovat 20 mm a hmotnost nesmí být menší než 0,1 násobek maximálního rozměru zrna, nejméně však 500g.

Vzorek se rozprostře na zváženém podnosu a zváží s 0,05% přesností, poté se nechá volně předsušet v místnosti s dobrou ventilací nebo v sušárně s občasným promícháním. Doba předsušení by neměla přesahovat 8 hodin.

Sušení v sušárně poté probíhá při teplotách max.  $40^{\circ}\text{C} \pm 5$  pro hnědá uhlí a  $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  pro černá uhlí. Vzorky se suší dokud, rozdíl v hmotnosti za hodinu mezi dvěma měřeními, není menší než 0,3% původní hmotnosti vzorku u hnědých uhlí a 0,1% u černých uhlí.

Množství hrubé vody se vypočte ze vztahu: [29]

$$w_{ex} = \frac{m_1}{m} \cdot 100$$

$w_{ex}$  .....množství hrubé vody v palivu [%]

$m_1$  .....úbytek hmotnosti během sušení [g]

$m$  .....hmotnost původního vzorku [g]

#### 4.1.3.2. Zbylá voda

Vzorek se upraví na rozměr zrna pod 3,15 mm a odebere se 10 g s přesností 0,001 g. Otevřená váženka se umístí do předem vyhřáté sušárny o teplotě 105 až 110°C kde se suší po dobu 60 minut pro černá uhlí a 90 minut pro hnědá uhlí.

Po skončení sušení se váženky vyjmou ze sušárny, zakryjí a nechají ochladit na kovové podložce 2 až 3 minut, poté se umístí do exsikátoru. Po ochlazení vzorku na teplotu místnosti se váží po 30 minutách, až rozdíly mezi váženími klesnou pod 0,1 %.

Množství zbylé vody se vypočte ze vztahu: [29]

$$W_h = \frac{m_1}{m} \cdot 100$$

$W_h$  .....množství zbylé vody v palivu [%]  
 $m_1$  .....úbytek hmotnosti během sušení [g]  
 $m$  .....hmotnost původního vzorku [g]

#### 4.1.3.3. Veškerá voda

Obsah veškeré vody se stanoví jednostupňovou nebo dvoustupňovou metodou.

Jednostupňová metoda je podobná jako určení obsahu hrubé vody. Použije se vzorek o zrnitosti 3,15 mm o hmotnosti min. 10 g, který se suší v sušárně při teplotě 105 až 110 °C.

Množství veškeré vody jednostupňovou metodou se vypočte ze vztahu: [29]

$$W_t = \frac{m_1}{m} \cdot 100$$

$W_t$  .....množství veškeré vody v palivu [%]  
 $m_1$  .....úbytek hmotnosti během sušení [g]  
 $m$  .....hmotnost původního vzorku [g]

Dvoustupňová metoda k určení obsahu veškeré vody v původním stavu spočívá v součtu hrubé a zbylé vody. Vzorec vypadá následovně: [29]

$$W_t^r = W_{ex}^r + W_h \cdot \frac{100 - W_{ex}^r}{100}$$

$W_t^r$  .....množství veškeré vody v původním stavu [%]  
 $W_{ex}^r$  .....množství hrubé vody v původním stavu [%]  
 $W_h$  .....množství zbylé vody [%]

Pro učení veškeré vody u biopaliv je postup lehce odlišný. Zrnitost vzorku by měla být max. 30 mm a hmotnost min. 300 g, ale preferuje se 500g.

Nejdříve se zváží dvě identické prázdné misky, jedna referenční a druhá, do které přijde vzorek. Misky se zváží s přesností 0,1 g. Vzorek se rovnoměrně rozprostře na jednu z misek. V případě, že v nádobě po odebrání vzorku zbyla viditelná vlhkost, zváží se taktéž nádoba před a po vysušení.

Obě misky se vloží do přehřáté sušárny na 105°C ± 2°C, kde se suší do doby než je, změna mezi váženími, po hodinových intervalech, menší než 0,2 %. Po dokončení sušení se obě misky opět zváží a obsah veškeré vody se vypočte ze vztahu: [30]

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3) - (m_4 - m_5) + m_6}{(m_2 - m_1)} \cdot 100$$

$M_{ar}$ .....množství veškeré vody v palivu [%]

$m_1$ .....hmotnost prázdné misky [g]

$m_2$ .....hmotnost misky se vzorkem před sušením [g]

$m_3$ .....hmotnost misky se vzorkem po sušení [g]

$m_4$ .....hmotnost referenční misky před sušením [g]

$m_5$ .....hmotnost referenční misky po sušení [g]

$m_6$ .....hmotnost vlhkosti ve vzorkovnici [g]

#### 4.1.3.4. Voda v analytickém vzorku

Z analytického vzorku paliva se odváží 1 g s přesností 0,0001 g. Váženka se vloží do předem vyhřáté sušárny na teplotu 105 – 110 °C a při této teplotě se suší minimálně po dobu 30 minut pro černá uhlí a 60 minut pro hnědá uhlí.

Po skončení sušení se váženka vyjme ze sušárny, přikryje a nechá vychladnout 2 až 3 minuty na vzduchu, poté se vloží do exsikátoru. Po ochlazení vzorku na teplotu místnosti se váží po 30 minutách sušení, až rozdíly mezi váženými klesnou pod 0,001g. [29]

Určení obsahu vody v analytickém vzorku pro biopaliva probíhá za stejných podmínek jako u fosilních paliv. Rozdílná je jen doba sušení. Suší do doby než je, změna mezi váženými, po hodinových intervalech, menší než 0,1 mg, což běžně trvá 2 až 3 hodiny.

Obsah vody v analytickém vzorku se poté vypočte ze vztahu: [31]

$$M_{ad} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100$$

$M_{ad}$ .....množství vody v analytickém vzorku [%]

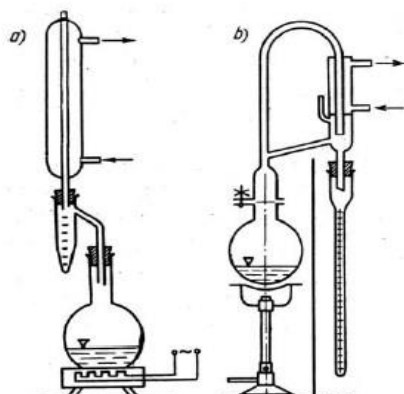
$m_1$ .....hmotnost prázdné misky [g]

$m_2$ .....hmotnost misky se vzorkem před sušením [g]

$m_3$ .....hmotnost misky se vzorkem po sušení [g]

#### 4.1.4. Destilační metoda

Jedná se taktéž o laboratorní destruktivní metodu. Její výhodou je vysoká přesnost, avšak dá se použít jen na malé množství vzorku, tudíž je nevhodná k měření vlhkosti nehomogenního materiálu. Zkouška probíhá v jednoduché destilační aparatuře, která se skládá z destilační nádobky, jímadla, chladiče a zařízení pro ohřev.



Obrázek 13: Destilační aparatura: a) s elektrickým ohřevem, b) s kahanem [26]

Metoda funguje na principu destilace. Měřené palivo se zahřívá společně s rozpouštědlem (např. xylen), přičemž pára rozpouštědla s sebou unáší i páru vody.

Postup stanovení vlhkosti vypadá následovně. Do suché destilační baňky se vloží vzorek o hmotnosti 50 g, přelije se rozpouštědlem, tak aby byl celý pod hladinou. Vzorek se zahřívá do té doby, dokud padající kapky rozpouštědla v chladiči nejsou čiré a přírůstek vody v jímadle se zastaví. Po ukončení destilace se vrstva odpařené vody změří. [26]

Vlhkost materiálu se poté vypočte ze vztahu: [32]

$$X = \frac{V_0}{M} \cdot 100$$

X .....množství vody ve vzorku [%]

$V_0$ .....množství vody získané destilací [ $\text{cm}^3$ ]

M.....hmotnost vzorku [g]

## 4.2. Obsah popeloviny v palivu

Podstata metody stanovení množství popela v palivu je zahřívání vzorku na vzduchu na teplotu, při které dochází k odpaření vody, vyhořívání hořlaviny a udržení vzorku na této teplotě do dosažení konstantní hmotnosti. Obsah popela se poté určí z hmotnosti zbytku po spálení. Na spálení vzorku se používají elektrické muflové pece s regulací teploty a plynulé výměny vzduchu, podmínkou je výměna vzduchu 5x až 10x za minutu. Podložky a misky musí být vyrobeny z žáruvzdorného materiálu např. křemenné, porcelánové, platinové nebo z žáruvzdorné oceli. [33]



Obrázek 14: Muflová pec [34]

### 4.2.1 Postup pro tuhá paliva

Analytický vzorek o zrnitosti max. 0,212 mm a hmotnosti 1 g se rovnoměrně rozprostře na čistou zváženou misku s přesností 0,1 mg. Vzorek i s miskou se zváží.

Miska se vloží do pece při teplotě v místnosti. Teplota se rovnoměrně zvyšuje na 500°C po dobu 60 minut. Teplota se udržuje na této hodnotě 30 minut pro černá uhlí a 60 minut pro hnědá uhlí.

Teplota v peci se zvýší na 815°C ± 10°C, pokud to pec neumožňuje, může se převést do druhé pece předeřháté na tuto teplotu. Na této teplotě se žihá min. 60 minut.

Po skončení žihání se miska přemístí na silnou kovovou podložku, kde se ochlazuje po dobu 10 minut. Poté se přemístí do exsikátoru nebo jiné uzavřené nádoby a nechá se ochladit na teplotu místnosti. Ochlazená miska se zváží s přesností 0,1 mg.

Pokud nedojde k úplnému vyhoření vzorku a jsou viditelné nespálené částice, opakuje se žihání při 815°C ± 10°C v 15 minutových intervalech, dokud změna hmotnosti mezi intervaly převyšuje 1 mg.

Obsah popela se poté vypočte ze vztahu: [33]

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100$$

A .....obsah popela ve vzorku [%]  
 m<sub>1</sub>.....hmotnost prázdné misky [g]  
 m<sub>2</sub>.....hmotnost misky se vzorkem před žiháním [g]  
 m<sub>3</sub>.....hmotnost misky po spálení [g]

### 4.2.2. Postup pro biopaliva

Prázdná miska se vloží do pece a zahřeje na 550°C ± 10°C po dobu 60 min. Po zahřátí se miska vyjme a nechá chladnout 5 až 10 minut na žáruvzdorné podložce. Poté se vloží do exsikátoru a nechá vychladnout na teplotu místnosti. Miska se zváží s přesností 0,1 mg.

Analytický vzorek o zrnitosti max. 0,25 – 1 mm a hmotnosti min. 1 g se rovnoměrně rozprostře na nachystanou misku. Vzorek i s miskou se zváží s přesností 0,1 mg.

Miska se vzorkem se vloží do chladné pece. Pec se postupně zahřívá až na teplotu 250°C, rychlostí 5°C za minutu, což by mělo trvat asi 50 minut. Teplota se udržuje 60 minut na této hodnotě, což umožňuje uvolnění prchavé hořlaviny před spálením vzorku. Poté se stejnou rychlostí teplota navyšuje po dobu 60 minut na hodnotu 550°C ± 10°C, vzorek se udržuje při této teplotě min. 120 minut.

Miska s obsahem se vyjme z pece a chladí se na žáruvzdorné podložce 5 až 10 minut. Poté se vloží do exsikátoru, kde se nechá vychladnout na teplotu místnosti. Po vychlazení se miska s vyhořeným vzorkem zváží.

Pokud vzorek jeví známky neúplného vyhoření, postup se opakuje při teplotě 550°C v 30 minutových intervalech, dokud změna v hmotnosti mezi intervaly převyšuje 0,2 mg.

Obsah popela v biopalivu se poté vypočte ze vztahu: [35]

$$A_d = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 \cdot \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

$A_d$  .....obsah popela ve vzorku [%]  
 $m_1$  .....hmotnost prázdné misky [g]  
 $m_2$  .....hmotnost misky se vzorkem před žiháním [g]  
 $m_3$  .....hmotnost misky po spálení [g]  
 $M_{ad}$  .....obsah vody ve vzorku [%]

### 4.3. Tavitelnost popela

Podstata měření tavitelnosti popela spočívá v zahřívání upraveného vzorku v elektrické píce za určitých podmínek, pozorování jeho změn a následné určení charakteristických teplot tání popele.

Zkouška se provádí v redukční atmosféře, která může být dvojího složení:

- 55 – 65% CO s 35 – 45% CO<sub>2</sub>
- 45 – 55% H s 45 – 55% CO<sub>2</sub>

Redukční atmosféry se dosáhne přiváděním jedné ze směsí při min. průtokové rychlosti 400mm/min ke vzorku. Z důvodu použití redukční atmosféry, musí být zajištěn odvod plynu do vnější atmosféry pomocí digestoře nebo ventilačním zařízením. [36]

#### 4.3.1. Postup pro tuhá paliva a biopaliva

Popel o max. zrnitosti 0,075 mm se rozprostře do misky. Dostatečné množství popela se navlhčí destilovanou vodou nebo adhezním roztokem, rozmíchá se na pastu a vtlačí do formičky.

Tímto získáme zkušební tělísko. Zkušební tělísko musí mít ostré hrany, aby byly jasně pozorovatelné změny tvaru při zahřívání. Povoleny jsou tyto tvary:

- jehlan, se základnou rovnostranného trojúhelníku, výškou 2x – 3x větší než základna podstavy, avšak max. 19 mm
- krychle, s rozměrem stran 3 mm až 7 mm
- válec, s výškou 3 mm až 9 mm, průměr musí být stejný jako výška
- komolý kužel, s výškou 4 mm, průměrem základny 3 mm a horní plochy 1,5 mm

Hmotnost musí být taková, aby se zajistilo vyrovnaní teploty v celém tělísku.

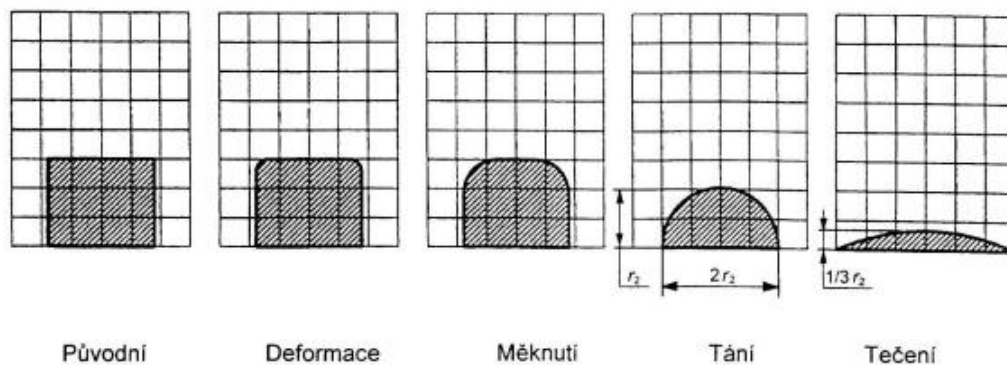
Po vyjmutí z formy se tělísko nechá vyschnout, přemístí se pícky, kde se postupným zahříváním na vzduchu až na teplotu 815°C odstraní veškeré organické hmoty.

Poté se do pícky pustí redukční atmosféra o uvedené rychlosti. Teplota se zvyšuje, tak aby interval mezi bodem a očekávanou teplotou deformace převyšoval 150 °C. Poté se pokračuje v navyšování teploty rychlostí v rozsahu 3 °C – 7 °C /min.

Při těchto podmínkách se tělísko pozoruje a zaznamenávají se teploty, při kterých dochází k charakteristickým změnám tvaru tělíska. Mezi charakteristické teploty patří: [36]

- **teplota deformace:** je teplota, při které dochází k prvním příznakům zaoblení hrotu nebo okrajů tělíska

- **teplota měknutí:** je teplota, při které u tělísek ve tvaru jehlanu nebo kužele je výška stejná jako šířka základny, u krychle nebo válce jsou okraje zcela zaobleny bez změny výšky
- **teplota tání:** je teplota, při které zkušební tělísko vytváří přibližně polokouli, výška se rovná polovině průměru základny
- **teplota tečení:** je teplota, při které se popel rozteče na podložce ve vrstvě, jejíž výška je  $1/3$  výšky tělíska při teplotě tání



Obrázek 15: Charakteristické tvary zkušebního tělíska [36]

Přibližné charakteristické teploty pro vybraná biopaliva jsou uvedeny v tabulce:

palivo	teplota měknutí [°C]	teplota tání [°C]
dřevo	1150	1170
šťovík	1255	1280
obilné zbytky	980	1015
řepková sláma + uhlí (9:1)	1255	1315

Tab. 10: Teploty měknutí a tání vybraných paliv [37]

#### 4.4. Spalné teplo a výhřevnost

Pro tuhá paliva i biopaliva je jednotný způsob určení spalného tepla kalorimetrickou metodou a následné učení výhřevnosti z naměřených hodnot.

##### 4.4.1. Spalné teplo

Podstatou metody je spálení analytického vzorku paliva v kalorimetrické bombě kalorimetru a změření tepla uvolněného spálením vzorku a pomocných látek. Zkouška probíhá při vysokém tlaku v kyslíkové atmosféře, nasycené vodní parou. Změří se množství tepla, které se uvolní spálením paliva a pomocných látek, za vzniku vodných roztoků kyseliny dusičné a sírové a vypočítá se spalné teplo.

Kalorimetr sestává z těchto součástí:

- kalorimetrická nádoba
- tlaková nádoba s kelímkem pro spalování
- zařízení pro měření teploty – teploměr, teplotní čidlo, termistor



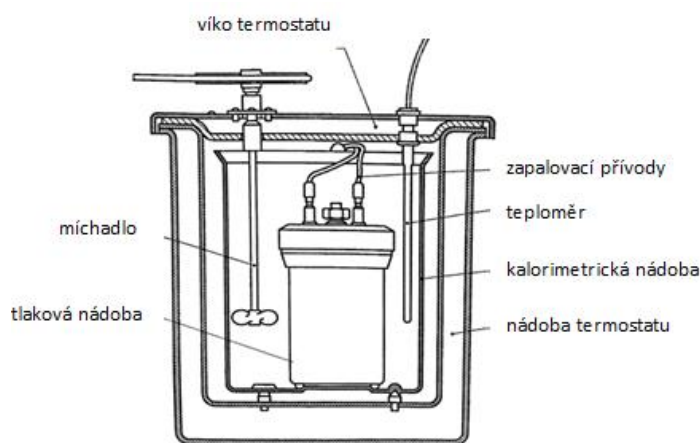
- míchadlo s konstantní rychlostí
- zapalovací obvod – obvod se střídavým proudem o napětí 6 až 12 V pro zapálení vzorku
- termostat – plášť obklopující kalorimetr s mezerou přibližně 10 mm

Rozeznáváme několik typů kalorimetrů:

typ kalorimetru	charakteristika
adiabatický	$T_{\text{bomba}} = T_{\text{plášť}}$
izoperibolický	$T_{\text{bomba}} - T_{\text{plášť}} \rightarrow 0 \text{ K}$ , max. odchylka 3 K
diatermický	$T_{\text{bomba}} \neq T_{\text{plášť}}$
aneroidní	bez tekutin, místo nádoby kovový blok

Tab. 11: Typy kalorimetrů [38]

Většinou se používají kalorimetry automatizované, které zjednodušují postup zkoušky a mají stejnou přesnost jako klasické kalorimetry.



a)



b)

Obrázek 16: a) klasický kalorimetr [38], b) automatizovaný kalorimetr IKA C5000 [39]

#### 4.4.1.1. Postup pro kalorimetr

Postup měření lze rozdělit do tří částí:

- stanovení efektivní tepelné kapacity  $C_k$  ( $\epsilon$ ) za pomoci kalibrační látky
- spálení zkušební vzorku v kalorimetrické bombě a stanovení teplotního rozdílu kapaliny v kalorimetru
- výpočet korekce měření

Spalné teplo při konstantním objemu vypočteme pomocí vztahu: [38]

$$q_{v,gr} = \frac{\varepsilon_n \cdot \theta - Q_{fuse} - Q_{ign} - Q_N - m_2 \cdot q_{v,2}}{m_1} - \frac{Q_s}{m_1}$$

$q_{v,gr}$  .....spalné teplo při konstantním objemu v analyzovaném stavu [J/g]

$\varepsilon_n$  .....průměrná hodnota efektivní tepelné kapacity [J/K]

$\theta$  .....teplotní vzestup [K]

$Q_{fuse}$  .....teplo uvolněné ze spálení zapalovacího prostředku [J]

$Q_{ign}$  .....teplo uvolněné oxidací zapalovacího drátku [J]

$Q_N$  .....teplo uvolněné vznikem kyseliny dusičné [J]

$Q_s$  .....úprava na síru [J]

$q_{v,2}$  .....spalné teplo při konstantním objemu pomocné látky [J/g]

$m_1$  .....hmotnost zkoušeného vzorku [g]

$m_2$  .....hmotnost pomocné spalovací látky [g]

Vypočtené spalné teplo při konstantním objemu má význam pouze na přepočet na jiné stavy. Většinou se spalné teplo přepočítává na bezvodý stav pomocí vztahu: [40]

$$q_{v,gr,d} = q_{v,gr} \cdot \frac{100}{100 - M}$$

$q_{v,gr,d}$  .....spalné teplo při konstantním objemu v bezvodém stavu [J/g]

$q_{v,gr}$  .....spalné teplo při konstantním objemu v analyzovaném stavu [J/g]

$M$  .....obsah vody v analytickém vzorku [%]

#### 4.4.2. Výhřevnost

Pro výpočet výhřevnosti ze spalného tepla při konstantním objemu použijeme např. vztah pro výhřevnost při konstantním tlaku s uvažováním všech změn vody: [38]

$$q_{p,net,m} = \{q_{v,gr,d} - 212,2 \cdot w(H)_d - 0,8 \cdot [w(O)_d + w(N)_d]\} \cdot (1 - 0,01 M_T) - 2,43 \cdot M_T$$

$q_{p,net,m}$  .....výhřevnost při konstantním tlaku s obsahem vody  $M_T$  [J/g]

$q_{v,gr,d}$  .....spalné teplo při konstantním objemu v bezvodém stavu [J/g]

$w(X)_d$  .....obsah prvku v bezvodém stavu paliva [%]

$M_T$  .....obsah vody pro přepočet [%]

Pokud se neuvažují změny stavu vody, lze výpočet výhřevnosti zjednodušit na vztah:

$$Q_i^r = Q_s - r \cdot (W^r + 8,94 \cdot H_2)$$

$Q_i^r$  .....výhřevnost paliva [kJ/kg]  
 $Q_s$  .....spalné teplo [kJ/kg]  
 $r$  .....výparné teplo vody,  $r = 2454$  kJ/kg  
 $W^r$  .....obsah vody v palivu [%]  
 $H$  .....obsah vodíku v palivu [%]

## 4.5. Prchavá hořlavina

Podstava metody spočívá v zahřívání vzorku v sušárně při vysokých teplotách a následné stanovení podílu prchavé hořlaviny z úbytku hmotnosti. Rozdíl oproti ostatním metodám je relativně krátká doba sušení vzorku.

### 4.5.1. Postup metody

Prázdný kelímek se stojanem se vloží do pícky a při teplotě  $900^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$  se zahřívá po dobu 7 minut. Kelímek se vyjme z pícky a nechá vychladnout, prvně na kokové podložce a poté v exsikátoru až na teplotu místnosti. Po vychladnutí se kelímek ihned zváží s přesností 0,1 mg.

Promíchaný navážený analytický vzorek o hmotnosti 1 g s přesností 0,1 mg se rovnoměrně rozprostře do kelímku. Na kelímek se nasadí víčko a poklepe se, aby se zaručila vrstva stejné tloušťky.

Uzavřený kelímek se vzorkem se umístí do stojanu a vloží do pícky. V předeřáté pícce na  $400^\circ\text{C}$  se vzorek zahřívá po dobu 7 minut, poté se přemístí do druhé pícky předeřáté na  $900^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ , kde setrvá dalších 7 minut. Po skončení ohřevu se kelímek se vzorkem vyjme z pícky a nechá vychladit stejným postupem jako na začátku operace. Posledním krokem je zvážení vychlazeného kelímku se vzorkem.

Pro stanovení prchavé hořlaviny u biopaliv je postup téměř stejný, pouze se vynechá krok s první píckou a vzorek se vloží rovnou do pícky předeřáté na  $900^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ , po dobu 7 minut. [41] [42]

Obsah prchavé hořlaviny pro bezvodý stav se vypočte ze vztahu: [42]

$$V_d^{\text{daf}} = \left( \frac{100 \cdot (m_2 - m_3)}{m_2 - m_1} - M_{\text{ad}} \right) \cdot \left( \frac{100}{100 - M_{\text{ad}}} \right)$$

$V_d^{\text{daf}}$  .....obsah prchavé hořlaviny v palivu[%]  
 $m_1$  .....hmotnost prázdného kelímku [g]  
 $m_2$  .....hmotnost kelímku se vzorkem [g]  
 $m_3$  .....hmotnost kelímku se vzorkem po vyžihání[g]  
 $M_{\text{ad}}$  .....voda obsažená v palivu[%]

#### 4.6. Shrnutí postupů

Princip většiny metod spočívá v zahřívání vzorku o určité hmotnosti na určitou teplotu a setrvání na této teplotě, případně se kombinuje více teplot. Pro orientaci v těchto hodnotách a přehlednost slouží následující tabulka:

		tuhá paliva			biopaliva		
		hmotnost	teplota [°C]	trvání [min]	hmotnost	teplota [°C]	trvání [min]
obsah vody v palivu	hrubá voda	min. 500 g	40 – 50 ±5	dokud rozdíl mezi měřeními není menší než 0,3% hm. pro Č.U. nebo 0,1% pro H.U.	min. 500 g	40 – 50 ± 5	dokud rozdíl mezi měřeními není menší 0,1% hm.
	zbylá voda	10 g	105 – 110	60 pro Č.U. 90 pro H.U.	10 g	105 – 110	90
	veškerá voda	10 g	105 – 110	60 pro Č.U. 90 pro H.U.	min. 300 g	105 ± 2	dokud rozdíl mezi měřeními není menší než 0,2% hm.
	voda v analyt. vzorku	1 g	105 – 110	min. 30 pro Č.U. min. 60 pro H.U.	1 g	105 – 110	dokud rozdíl mezi hodinovými měřeními není menší než 0,1 mg
popelovina		1 g	500°C na 60 min + 815 ± 10°C na 60 min		min. 1 g	250°C na 60 min + 550°C ± 120 min	
tavitelnost popelu		dostatečná ke tvorbě tělíska	bod zlomu + 150 °C poté 3 ÷ 7 °C /min		dostatečná ke tvorbě tělíska	bod zlomu + 150 °C poté 3 ÷ 7 °C /min	
prchavá hořlavina		1 g	400°C na 7 min + 900 ± 10°C na 7 min		1 g	400°C na 7 min + 900 ± 10°C na 7 min	

Tab. 12: Shrnutí metod měření

## 5. Laboratorní měření

Měření proběhlo v laboratoři paliv Energetického ústavu FSI v Brně. Cílem měření bylo ověření a vyzkoušení metod pro určování vlastností tuhých paliv. Měření spočívalo v určení vlhkosti, popelnatosti, spalného tepla a výhřevnosti.

K měření byly použity vzorky těchto tuhých paliv:

- piliny – vzorek č. 1
- dřevní štěpka – vzorek č.2
- dřevní peletky – vzorek č.3
- slupky z kakaových bobů – vzorek č. 4
- černé uhlí – vzorek č. 5

Zkušební vzorek byl připraven pro rozbor ručním výběrem z dodaného vzorku a nadrcením v mlýnku.

### 5.1. Vlhkost

Vlhkost byla změřena dvěma metodami, a to v laboratorní sušárně a pomocí halogenové váhy.

#### 5.1.1. Stanovení vlhkosti v laboratorní sušárně

Stanovení vlhkosti v palivu probíhalo podle normy ČSN EN 14775 (Stanovení obsahu vody - Metoda sušení v sušárně - Část 1: Celková voda – Referenční metoda).

Pro tuto metodu byla použita dřevní štěpka. Prázdné misky se zvážily a nasypalo se do nich zkoušené množství vzorku, poté se misky umístily do laboratorní sušárny o teplotě 105 °C. Při této teplotě byly vzorky vysoušeny po dobu 240 min a po dokončení vysoušení se misky se vzorky opět zvážily.

Obsah vody ve vzorku se poté vypočte ze vztahu:

$$M_{ad} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100$$

$M_{ad}$  .....množství vody v analytickém vzorku [%]  
 $m_1$ .....hmotnost prázdné misky [g]  
 $m_2$ .....hmotnost misky se vzorkem před sušením [g]  
 $m_3$ .....hmotnost misky se vzorkem po sušení [g]

vzorek	$m_1$ [g]	$m_2$ [g]	$m_3$ [g]	$M_{ad}$ [%]
vzorek č. 2/1	12,8	138,8	81,2	45,714
vzorek č. 2/2	12,8	125,5	76,2	43,7444
vzorek č. 2/3	13,0	126,0	67,5	51,769
vzorek č. 2/4	13,0	136,2	78,4	46,915
vzorek č. 2/5	12,8	129,1	63,1	56,749
vzorek č. 2/6	12,9	134,5	82,4	42,845
vzorek č. 2/7	13,0	129,3	86,7	36,629
vzorek č. 2/8	13,0	128,1	65,8	54,126
vzorek č. 2/9	12,9	123,2	86,3	33,454

Tab. 13: Vlhkost v dřevní štěpce

Ukázkový výpočet pro vzorek č. 2/1:

$$M_{ad} = \frac{(138,8 - 81,2)}{(138,8 - 12,8)} \cdot 100 = 45,714 \%$$

### 5.1.2. Stanovení vlhkosti pomocí halogenových vah

Do misky se nejprve nasypalo požadované množství vzorku, které bylo rovnoměrně rozprostřeno a zváženo společně se zkušební miskou. Potom se vzorek s miskou umístil do halogenové sušící váhy, kde probíhalo sušení vzorku při teplotě  $105 \div 110$  °C. Při této teplotě byly vzorky vysoušeny, dokud halogenové sušící váhy neukončily proces sušení.

vzorek	$m_2$ [g]	$m_3$ [g]	$M_{ad}$ [%]
vzorek č. 1	6,5469	6,090	6,966
vzorek č. 2	4,410	3,701	16,077
vzorek č. 3	4,143	3,208	10,228
vzorek č. 4	5,1459	4,7369	7,949
vzorek č. 5	23,471	15,1589	35,418

Tab. 14: Vlhkost ve vybraných vzorcích

Z naměřených hodnot dosahovalo nejvyšší vlhkosti vzorek č. 5, tedy černé uhlí, u kterého také byla nejdelší doba sušení. Větší množství vlhkosti byla patrná už při kontaktu se vzorkem, kdy byla viditelná vlhkost už na stěně vzorkovnice.

### 5.2. Popelnatost

Zkouška byla provedena podle metody popsané v normě ČSN EN 14775: Tuhá biopaliva – Stanovení obsahu popelu.

Prázdné a čisté spalovací misky byly samostatně zváženy. Poté se do každé misky nasypal vzorek o hmotnosti cca 1 g. Misky se vzorky byly umístěny do muflové pece přehřáté na 550 °C a žíhány při této teplotě po dobu 120 min. Vyžíhané vzorky se nechaly vychladnout a poté se zvážily.

Obsah popela se poté určil ze vztahu:

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100$$

A .....obsah popela ve vzorku [%]

$m_1$  .....hmotnost prázdné misky [g]

$m_2$  .....hmotnost misky se vzorkem před žíháním [g]

$m_3$  .....hmotnost misky po spálení [g]

Ukázkový výpočet pro vzorek č. 1:

$$A = \frac{8,1709 - 8,1702}{9,09 - 8,1702} \cdot 100 = 0,076 \%$$

vzorek	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]	m <sub>3</sub> [g]	A[%]
vzorek č. 1/1	8,1702	9,09	8,1709	0,076
vzorek č. 1/2	8,7283	9,905	8,7343	0,509901
vzorek č. 1/3	9,207	10,218	9,2110	0,395648
vzorek č. 2/1	8,5551	10,7460	8,6656	5,043
vzorek č. 2/2	7,4668	9,1877	7,5104	2,533558
vzorek č. 2/3	7,7758	9,7899	8,0483	13,52962
vzorek č. 3/1	7,5922	10,5415	7,6408	1,647849
vzorek č. 3/2	8,7262	11,3433	8,7336	0,282756
vzorek č. 4/1	8,708	9,949	8,8342	10,16922
vzorek č. 4/2	7,0202	8,1459	7,1223	9,069912
vzorek č. 4/3	7,5923	9,0911	7,7369	9,647718

Tab. 15: Popelnatost vybraných vzorků

### 5.3. Spalné teplo a výhřevnost

Spalné teplo a výhřevnost zkoušených vzorků se určila podle ČSN EN 14918. Jako první se stanovilo spalné teplo, pomocí automatického kalorimetru IKA C 200, ve kterém proběhlo spálení vzorků v kalorimetrické bombě s kyslíkovou atmosférou o tlaku 3 MPa. Po spálení vzorku se z kalorimetru odečetlo spalné teplo.

Získané hodnoty spalného tepla byly přepočteny na výhřevnost pomocí vztahu:

$$Q_i^r = Q_s - r \cdot (W^r + 8,94 \cdot H_2)$$

$Q_i^r$  .....výhřevnost paliva [J/g]

$Q_s$  .....spalné teplo [J/g]

$r$  .....výparné teplo vody

$W^r$  .....obsah vody v palivu [%]

$H$  .....obsah vodíku v palivu [%]

Ukázkový výpočet pro vzorek č. 4/1:

$$Q_i^r = 16937 - 24,42 \cdot (7,95 + 8,94 \cdot 6) = 15432,97 \text{ [J/g]}$$

vzorek	m [g]	W <sup>r</sup>	Q <sub>s</sub> [J/g]	Q <sub>i</sub> <sup>r</sup> [J/g]
vzorek č. 1/1	1,0624	6,96	18791	<b>17311</b>
vzorek č. 1/2	0,8585	35,02	13364	<b>12084</b>
vzorek č. 1/3	0,8844	10,03	13471	<b>12191</b>
vzorek č. 2/1	1,1422	42,82	8487	<b>6132</b>
vzorek č. 2/2	1,1375	36,63	10323	<b>8120</b>
vzorek č. 2/3	1,1347	54,14	9515	<b>6884</b>
vzorek č. 3/1	1,1412	10,23	18142	<b>16582</b>
vzorek č. 3/2	1,1578	7,68	18854	<b>17357</b>
vzorek č. 4/1	1,0493	7,95	16937	<b>15433</b>
vzorek č. 4/2	1,1794	4,82	18081	<b>16653</b>

Tab. 16: Spalné teplo a výhřevnost vybraných vzorků

## 5.4. Zhodnocení zkoušky

Výsledky zkoušek pro jednotlivá paliva jsou shrnuty v následující tabulce:

palivo	vlhkost [%]	popelnatost [%]	spalné teplo [MJ/kg]	výhřevnost [MJ/kg]
piliny	6,966	0,328	15,2	13,9
dřevní štěpka	45,772	7,036	9,99	7,05
dřevní peletky	8,952	0,965	18,5	16,97
slupky z kakaových bobů	6,384	9,629	17,5	16,04
černé uhlí	35,418	-	-	-

Tab. 17: Souhrn průměrných naměřených vlastností

Jak z tabulky vyplývá, nejmenší výhřevnosti dosáhla dřevní štěpka, což je z velké části způsobeno její vysokou vlhkostí. Nejvyšší popelnatost dosáhly slupky z kakaových bobů, to se dalo očekávat už při optickém zhodnocení, kdy v popelu byly patrné části slupek.

Průběh metod měření odpovídal příslušným předpisům v uvedených normách. Z důvodu, že se jednalo o měření s cílem pochopit a osvojit si dané metody a také z časového limitu, však došlo k mírným úpravám, získané hodnoty tak nelze považovat za zcela přesné, protože nebyly dodrženy všechny zásady vzorkování a měření. Chyběly údaje o podmínkách a způsobu odběru vzorků, proto nelze s jistotou říct, že jsou reprezentativní k danému celku paliva. Vzorky byly odebrány ručně z vrchní části vzorkovnice, čímž se taktéž mohla navýšit chyba ve výsledcích.

Z výše popsaných důvodů by se neměly výsledky považovat za reprezentativní, jedná se spíše o hodnoty orientační.



## Závěr

Přesné určování vlastností paliv, ať už se jedná o klasická fosilní paliva, biopaliva, odpady nebo nejruznější jejich směsi, je pro nás čím dál tím důležitější. Znalost přesných hodnot paliva napomáhá při volbě konstrukce spalovacího zařízení i při samotném spalovacím procesu. Správnou optimalizací spalovacího procesu se dá ovlivnit jak ekonomická stránka věci, tak množství uvolňovaných emisí, které mají vliv na životní prostředí.

Cílem této bakalářské práce bylo realizovat a vyhodnotit jednotlivé laboratorní postupy, které je možno využít při posuzování vlastností paliv. Výhodu uvedených postupů je možno spatřovat ve snadné proveditelnosti, kdy je možno, s pomocí základních laboratorních zařízení, dosahovat vysoké přesnosti měření. Princip těchto měření je, ve většině případů, založen na gravimetrickém určení úbytku hmotnosti sušením nebo spalováním.

Technologie měření paliva, zejména nepřímých metod, se ale každým rokem zdokonalují a některé vlastnosti, jako například vlhkost, už je možno měřit kontinuálně v proudu paliva. Výhodou těchto měření je rychlost získaných dat, nevýhodou větší chyba oproti referenčním metodám a vysoké náklady na tyto zařízení.

S rostoucím počtem normalizovaných metod měření, ale narůstá také počet norem. Což v některých případech může způsobovat nepřehlednost normalizovaných metod nebo docházet ke kolizím. Postupem času by se tak měl jejich počet regulovat, méně přesné normy se nahradit lepšími a přesnějšími.

## Seznam použité literatury

- [1] MIŠKOVSKÝ, Miroslav. *Paliva, úprava paliv a spalování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971, 234 s.
- [2] ŠKORPÍK, Jiří. *Fosilní paliva, jejich využití v energetice a ekologické dopady*, [online]. Transformační technologie, [cit. 2014-04-05]. Brno: Jiří Škorpík,], ISSN 1804-8293. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/fosilni-paliva-jejich-vyuziti-v-energetice-a-ekologicke-dopady.html>.
- [3] DOPITA, Miloslav, Václav HAVLENA a Jiří PEŠEK. *Ložiska fosilních paliv*. 1. vyd. Praha SNTL, 1985, 264 s.
- [4] JIRÁSEK, Jakub, Martin SIVEK a Petr LÁZNIČKA. *Ložiska nerostů* [online]. Ostrava: Anagram, 2010, 1 CD-ROM [cit. 2014-04-06]. ISBN 978-80-7342-206-6. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/index.html>
- [5] Tzb-info.cz. *Hnědé uhlí a norma ČSN ISO 1928* [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3173-hnede-uhli-a-norma-csn-iso-1928>
- [6] sandatlas.org. *Anthracite* [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.sandatlas.org/2013/02/anthracite/>
- [7] aqualusia.cba.pl. *Inne dekoracje* [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://aqualusia.cba.pl/index.php/zakladanie-akwarium/8-zakladanie-akwarium>
- [8] PASTOREK, Jakub, Jaroslav KÁRA a Petr JEVÍČ. *Biomasa – obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004, 288 s. ISBN 80-86534-06-5
- [9] BŘÍŽŤALA, Jan. *Fotosyntéza* [online]. e-chembook.eu, [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.e-chembook.eu/cz/biochemie/fotosynteza>
- [10] MURTINGER Karel, Jiří BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2011, 106 s. ISBN 978-80-251-2916-6
- [11] pelletia.cz. *Topné peletky z řepky* [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: [http://www.pelletia.cz/soubory/sekce/peletky\\_repka1.jpg](http://www.pelletia.cz/soubory/sekce/peletky_repka1.jpg)
- [12] brikopal.cz. *co-jsou-drevene-brikety* [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: [http://brikopal.cz/wp-content/uploads//drevene\\_brikety\\_detail.jpg](http://brikopal.cz/wp-content/uploads//drevene_brikety_detail.jpg)
- [13] Ekowatt.cz. *Energie biomasy*. [online]. [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>
- [14] ŠEJVL, Radovan. *Energie z odpadů I. Biom.cz* [online]. 2013-03-18 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: [http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energie-z-odpadu-I?all\\_ids=1%20-%20disc](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energie-z-odpadu-I?all_ids=1%20-%20disc). ISSN: 1801-2655.
- [15] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 119 s. ISBN 978-80-214-4770-7.

- [16] BALÁŠ, Marek, Martin LYSÝ a Jiří MOSKALÍK. *Kotle – 1. část*. tzb-info: Energetika [online].[cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/8382-kotle-1-cast>
- [17] HORÁK, Jiří a Petr KUBESA. *O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích(1)*. tzb-info: Energetika [online]. 2012 [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/8618-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-1>
- [18] PETŘÍKOVÁ, Vlasta, PUNČOCHÁŘ, Miroslav: Biomasa – alternativní palivo z hlediska chemického složení. *Biom.cz* [online]. 2007-07-16 [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-alternativni-palivo-z-hlediska-chemickeho-slozeni>. ISSN: 1801-2655.
- [19] energetika.cvut.cz. *Předběžný návrh koncepce kotle a přípravy paliva*. [online].[cit. 2014-01-05]. Dostupné z: [http://energetika.cvut.cz/files/StK%20pr5\[1\].pdf](http://energetika.cvut.cz/files/StK%20pr5[1].pdf)
- [20] vec.vsb.cz. *Charakteristiky paliv*. [online].[cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://vec.vsb.cz/userfiles/pdf/studijni-materialy/charakteristiky.pdf>
- [21] HAVLÍK, Tomáš. *Vzorkovanie tuhých materiálov*. Vyd. 1. Košice: Emilena, 2006, 220 s. ISBN 80-8073-587-5.
- [22] ČSN EN 14 778-1 (83 8211): *Tuhá biopaliva – Vzorkování*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha: 2011.
- [23] ČSN 44 1304: *Tuhá paliva. Metody odběru a úpravy vzorků pro laboratorní zkoušení*, Federální Úřad Pro Normalizaci A Zkoušení, Praha, 1989
- [24] ČSN ISO 5069-1 (44 1313): *Hnědá uhlí a lignity – Zásady vzorkování – Část 1: Vzorkování pro stanovení obsahu vody a obecný rozbor*. Český normalizační institut, Praha, 1997.
- [25] ČSN 44 1309: *Tuhá paliva – Odběr, úprava vzorků a mechanické zkoušky briket*. Český normalizační institut, Praha, 2006.
- [26] BALÁŠ, Marek, MOSKALÍK, Jiří: Měření vlhkosti paliv. Sborník příspěvků ze semináře „Energie z biomasy X“, VUT v Brně, 2009, ISBN 978-80-214-4027-2
- [27] verkon.cz. *Přístroje pro měření vzorků*. [online].[cit. 2014-06-05]. Dostupné z: <http://www.verkon.cz/data/catalog/big/img4325.jpg>
- [28] eu.fme.vutbr.cz. *Palivová laboratoř* [online].[cit. 2014-06-05]. Dostupné z: [http://www.eu.fme.vutbr.cz/uploads/OEI/Palivova\\_lab/halogenove\\_susici\\_vahy\\_kern\\_mls.jpg](http://www.eu.fme.vutbr.cz/uploads/OEI/Palivova_lab/halogenove_susici_vahy_kern_mls.jpg)
- [29] ČSN 44 1377: *Tuhá paliva - Stanovení obsahu vody*, Český normalizační institut, Praha, 2004
- [30] ČSN EN 14774-1 (83 8220): *Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Metoda sušení v sušárně - Část 1: Celková voda - Referenční metoda*, Český normalizační institut, Praha, 2010

- [31] ČSN EN 15414-3 (83 8318): *Tuhá alternativní paliva - Stanovení obsahu vody metodou sušení v sušárně - Část 3: Obsah vody v analytickém vzorku pro obecný rozbor*, Český normalizační institut, Praha, 2007
- [32] ČSN 65 6062: *Ropné výrobky. Stanovení obsahu vody*, Úřad pro normalizaci a měření, Praha, 1983
- [33] ČSN ISO 1171 (44 1378): *Tuhá paliva - Stanovení popela*, Český normalizační institut, Praha, 2001
- [34] pro-deco.sk *Laboratorné pece M*. [online].[cit. 2014-18-05]. Dostupné z: [http://files.pro-deco.sk/system\\_preview\\_detail\\_200002896-0c2fc0d29d/M4-kl.jpg](http://files.pro-deco.sk/system_preview_detail_200002896-0c2fc0d29d/M4-kl.jpg)
- [35] ČSN EN 14775 (83 8210): *Pevná biopaliva – Metody stanovení obsahu popele*, Český normalizační institut, Praha, 2005
- [36] ČSN ISO 540 (44 1359): *Tuhá paliva - Stanovení tavitelnosti popela – Vysokoteplotní metoda s trubící*, Český normalizační institut, Praha, 2000
- [37] HRDLIČKA, František. *Perspektivní malé a střední zdroje na tuhá paliva*. tzb-info: Energetika [online]. 2012 [cit. 2014-18-05]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4325-perspektivni-male-a-stredni-zdroje-na-tuha-paliva>
- [38] ČSN ISO 1928 (44 1352): *Tuhá paliva - Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti*, Český normalizační institut, Praha, 1999
- [39] ilabo.cz. *Kalorimetr C 5000 control IKA*. [online].[cit. 2014-18-05]. Dostupné z: [http://www.ilabo.cz/UserFiles/Image/Produkty/IKA/Novinky\\_2013/kalorimetr-c-5000-control-package-2-12.jpg](http://www.ilabo.cz/UserFiles/Image/Produkty/IKA/Novinky_2013/kalorimetr-c-5000-control-package-2-12.jpg)
- [40] ČSN EN 14918 (83 8214): *Tuhá biopaliva - Stanovení spalného tepla a výhřevnosti*, Český normalizační institut, Praha, 2006
- [41] ČSN ISO 5071-1 (44 1351): *Hnědá uhlí a lignity – Stanovení prchavé hořlaviny v analytickém vzorku – Část 1: Metoda dvou pícek*, Český normalizační institut, Praha, 2003
- [42] ČSN EN 15148 (83 8222): *Tuhá biopaliva – Metoda stanovení obsahu těkavých látek*, Český normalizační institut, Praha, 2006

## Seznam použitých zkratk a symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
A	[%]	obsah popela
A <sup>d</sup>	[%(m/m)]	obsah popela v palivu v bezvodém stavu
A <sup>r</sup>	[%(m/m)]	obsah popela v původním stavu paliva
C	[%(m/m)]	obsah uhlíku v palivu
c	[t]	konstanta množství dodávky paliva
D	[mm]	průměr
f	[-]	frekvence odběru vzorku
H	[%(m/m)]	obsah vodíku v palivu
h	[%(m/m)]	obsah hořlaviny v palivu
M	[t]	hmotnost vzorkovaného celku
M	[g]	hmotnost vzorku
M <sup>ad</sup>	[%(m/m)]	množství vody v analytickém vzorku
M <sup>ar</sup>	[%(m/m)]	množství veškeré vody v palivu
M <sub>lot</sub>	[t]	hmotnost dodávky paliva
M <sub>T</sub>	[%(m/m)]	obsah vody, pro který je požadován výpočet
m	[kg]	hmotnost původního vzorku
m <sub>n</sub>	[kg]	hmotností podíl paliva
m <sub>1</sub>	[g]	hmotnost prázdné misky
m <sub>2</sub>	[g]	hmotnost misky se vzorkem před úkonem
m <sub>3</sub>	[g]	hmotnost misky se vzorkem po úkonu
m <sub>4</sub>	[g]	hmotnost referenční misky před sušením
m <sub>5</sub>	[g]	hmotnost referenční misky po sušení
m <sub>6</sub>	[g]	hmotnost vlhkosti ve vzorkovnici
N	[%(m/m)]	obsah dusíku v palivu
n	[-]	počet dílčích vzorků
n <sub>1</sub>	[-]	Počet dílčích vzorků ze zásilek o větší hmotnosti než je maximum dané normou
O	[%(m/m)]	obsah kyslíku v palivu
Q	[t/h]	výkon vzorkovaného proudu
Q <sub>fuse</sub>	[J]	teplo uvolněné ze spálení zapalovacího prostředku
Q <sub>ign</sub>	[J]	teplo uvolněné oxidací zapalovacího drátku
Q <sub>i</sub> <sup>r</sup>	[kJ/kg]	výhřevnost paliva
Q <sub>N</sub>	[J]	teplo uvolněné vznikem kyseliny dusičné
Q <sub>s</sub>	[J]	spalné teplo
Q <sub>sulp</sub>	[J]	korekce síry při výpočtu spalného tepla
q	[t]	kapacita jeřábu
q <sub>v,2</sub>	[J]	spalné teplo pomocné látky
q <sub>v,gr</sub>	[J/g]	spalné teplo při konstantním objemu v analyzovaném stavu
q <sub>v,gr,d</sub>	[J/g]	spalné teplo při konstantním objemu v bezvodém stavu
q <sub>p,net,m</sub>	[J/g]	výhřevnost při konstantním tlaku s obsahem vody M <sub>T</sub>
r	[kJ/kg]	výparné teplo vody
S	[%(m/m)]	obsah síry v palivu
T	[°C]/[K]	teplota

$t$	[s]	časový interval odběru
$V$	[cm <sup>3</sup> ]	objem vzorku
$V_0$	[cm <sup>3</sup> ]	množství vody získané destilací
$V_d^{\text{daf}}$	[(m/m)]	obsah prchavé hořlaviny v palivu
$W^{\text{ex}}$	[(m/m)]	množství hrubé vody v palivu
$W_{\text{ex}}^{\text{r}}$	[(m/m)]	množství hrubé vody v původním stavu
$W^{\text{h}}$	[(m/m)]	množství zbylé vody v palivu
$W^{\text{r}}$	[(m/m)]	obsah vody v palivu
$W_t^{\text{r}}$	[(m/m)]	množství veškeré vody v původním stavu
$w(\text{H})_d$	[(m/m)]	obsah vodíku v bezvodém stavu paliva
$w(\text{O})_d$	[(m/m)]	obsah kyslíku v bezvodém stavu paliva
$X$	[–]	počet balíků ke vzorkování
$X$	[(m/m)]	množství vody ve vzorku
$\varepsilon_n$	[J/g]	průměrná hodnota efektivní tepelné kapacity
$\theta$	[K]	teplotní vzestup